

工程软件高速加工实例详解



UG NX7.0 数控高速加工实例详解

李万全 高长银 黎胜容 主编





机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

基础知识够用
实例丰富，讲解透彻，可借鉴性强
学习后可轻松实现从入门到精通



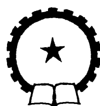
VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

工程软件高速加工实例详解

UG NX 7.0 数控高速加工实例详解

李万全　高长银　黎胜容　主　编



机 械 工 业 出 版 社

本书基于UG NX 7.0 环境平台，通过专业技术和工程实例相结合的形式，详细介绍了UG NX 高速数控加工的原理、方法和典型应用。全书共包括 9 章，第 1～4 章为基础技术，主要介绍了高速加工的专业知识、UG NX 7.0 平面铣高速加工、UG NX 7.0 型腔铣高速加工、UG NX 7.0 曲面轮廓铣高速加工，使读者对 UG 高速加工的常用技术进行了解和熟悉；第 5～9 章为高速加工典型实例，从专业的角度，本着循序渐进、由浅入深的原则，分别介绍了薄板支架高速加工、车轮曲面高速加工、喇叭玩具凹模高速加工、鼠标凸模高速加工以及发动机叶轮高速加工。这些实例全部来自于一线实际项目，代表性和实践性强，读者学习后可举一反三，迅速上手和提高，实现从入门到精通的质的飞跃。

本书语言简洁、层次清晰、图例丰富、步骤详细，讲解方式由点及面、深入浅出、化难为简，无论读者是否具有数控基础，都可以轻松入门、掌握精髓，最终学以致用。本书含光盘一张，包括书中所有素材源文件及实例操作视频，方便读者使用。

本书适合企业数控加工人员使用，同时也可作为大中专院校相关专业学生的理想教材，是读者学习高速加工的必备参考书。

图书在版编目（CIP）数据

UG NX 7.0 数控高速加工实例详解/李万全，高长银，黎胜容主编．—北京：机械工业出版社，2011.6

（工程软件高速加工实例详解）

ISBN 978-7-111-34322-6

Ⅰ．①U…　Ⅱ．①李…　②高…　③黎…　Ⅲ．①数控机床—计算机辅助设计—应用软件，UG NX 7.0　Ⅳ．①TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 076200 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：周国萍　责任编辑：周国萍　王治东
版式设计：霍永明　责任校对：刘志文
封面设计：马精明　责任印制：乔　宇
北京汇林印务有限公司印刷
2011 年 7 月第 1 版第 1 次印刷
169mm×239mm・18.75 印张・365 千字
0001—4000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-34322-6
　　　　　ISBN 978-7-89451-946-7（光盘）
定价：38.00元（含 1DVD）

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务
社服务中心：（010）88361066
销售一部：（010）68326294
销售二部：（010）88379649
读者购书热线：（010）88379203

策划编辑：（010）88379733
网络服务
门户网：http://www.cmp1book.com
教材网：http://www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版

前　　言

1．本书创作背景

高速加工是一门先进的切削技术。与普通加工技术相比，高速加工具有非常快的切削速度和进给速度，不仅可使用户提高加工效率、缩短加工时间，而且还可获得较高的加工精度。因此，随着制造业技术的不断发展，高速加工逐渐得到了广泛的应用。市场上关于高速加工的同类书比较少，为了弥补这种不足，本书基于常用的 UG NX 7.0 平台，结合大量典型实例讲解高速数控加工编程的方法与应用技巧。

2．本书内容导读

全书内容共分为 9 章，具体内容如下：

第 1 章为高速加工的专业知识，简要介绍了高速加工的特点和应用、机床结构与分类、加工刀具材料和结构以及高速加工工艺。读者通过学习，将对高速加工技术有一入门性的了解，熟悉和掌握高速加工的机床结构、工具选用以及加工工艺。

第 2～4 章介绍了 UG NX 7.0 数控高速加工的主要技术，包括平面铣高速加工、型腔铣高速加工和轮廓铣高速加工。重点讲解了这些技术的加工原理、操作方法和参数设置。读者通过学习，将具备扎实的操作技术，为后面的实例学习打下基础。

第 5～9 章介绍了高速加工典型实例，包括薄板支架高速加工、车轮曲面高速加工、喇叭玩具凹模高速加工、鼠标凸模高速加工以及发动机叶轮高速加工。实例类型涵盖模具、航天零件等，代表性和指导性强，学习后可举一反三，实现从入门到精通。

3．本书主要特点

归纳起来，本书的主要特点有：

（1）内容安排　专业理论→UG NX 高速加工技术→典型应用实例，技术理论为辅，工程实践为主，集专业性和实用性于一体。

（2）讲解方式　由点及面、化难为简、深入浅出，无论读者是否具有高速加工基础，都可以轻松入门与提高，最终学以致用。

（3）本书光盘　提供全书所有实例素材源文件和视频操作演示，手把手指导读者练习和温习巩固，物超所值。

4．本书读者对象

本书面向数控行业的初、中级用户，既适合企业数控加工人员使用，又可作为大中专院校相关机械专业学生的理想教材，是读者学习高速加工技术与应用的案头宝典。

5．本书作者队伍

本书由李万全、高长银、黎胜容主编，参加编写的有黎双玉、马龙梅、涂志涛、刘红霞、刘铁军、何文斌、邓力、王乐、杨学围、张秋冬、闫延超、董延、郭志强、毕晓勤、贺红霞、史丽萍、袁丽娟、刘汝芳、夏劲松。

由于作者水平有限，书中难免会有一些错误和不足之处，欢迎广大读者及业内人士予以批评指正。

编　者

目　　录

前言

第 1 章　高速加工的专业知识 1

1.1　数控高速加工基础 1

1.1.1　高速加工的特点和应用 2

1.1.2　高速加工机床的结构与分类 4

1.1.3　高速加工刀具材料和结构 17

1.2　数控高速加工工艺 27

1.2.1　高速加工的工艺特点 27

1.2.2　高速加工切削用量的选择 29

1.2.3　高速加工路径规划 34

1.3　本章小结 37

第 2 章　UG NX 7.0 平面铣高速加工 38

2.1　平面铣加工的特点 38

2.2　平面铣加工边界 38

2.2.1　铣削边界的类型 38

2.2.2　铣削边界的创建 40

2.3　平面铣加工参数与操作 43

2.3.1　切削模式 44

2.3.2　切削步长 48

2.3.3　切削层 50

2.3.4　切削参数 52

2.3.5　进给和速度 63

2.3.6　机床控制 63

2.3.7　非切削移动 66

2.4　本章小结 77

第 3 章　UG NX 7.0 型腔铣高速加工 78
3.1　型腔铣高速加工原理与特点 78
3.1.1　型腔铣的加工原理 78
3.1.2　型腔铣加工的特点 79
3.2　型腔铣加工几何体 79
3.2.1　指定部件 79
3.2.2　指定毛坯 80
3.2.3　指定检查 80
3.2.4　指定切削区域 81
3.2.5　指定修剪边界 81
3.3　型腔铣高速加工操作参数 82
3.3.1　切削模式 82
3.3.2　切削步长 86
3.3.3　切削层 88
3.3.4　切削参数 91
3.3.5　进给和速度 95
3.3.6　机床控制 96
3.3.7　非切削移动 98
3.4　本章小结 109
第 4 章　UG NX 7.0 曲面轮廓铣高速加工 110
4.1　曲面轮廓铣加工原理 110
4.2　曲面轮廓铣驱动方法 110
4.2.1　曲线/点驱动方法 111
4.2.2　螺旋式驱动方法 113
4.2.3　边界驱动方法 114
4.2.4　区域铣削驱动方法 121
4.2.5　曲面驱动方法 123
4.2.6　流线驱动方法 128
4.2.7　刀轨驱动方法 128
4.2.8　径向切削驱动方法 129
4.2.9　清根驱动方法 131

4.2.10 文本驱动方法 139
4.3 曲面轮廓铣操作参数 139
4.3.1 切削参数 139
4.3.2 非切削移动 148
4.4 本章小结 158
第 5 章 UG NX 7.0 薄板支架高速加工实例 159
5.1 加工方法分析 159
5.2 加工流程与效果图 160
5.3 具体操作步骤 161
5.3.1 初始化加工环境 161
5.3.2 创建加工父级组 161
5.3.3 内腔平面铣粗加工 165
5.3.4 内腔平面铣精加工 171
5.3.5 凹槽平面铣精加工 175
5.4 实例总结 181
第 6 章 UG NX 7.0 车轮曲面高速加工实例 182
6.1 加工方法分析 182
6.2 加工流程与效果图 182
6.3 具体操作步骤 184
6.3.1 初始化加工环境 184
6.3.2 创建加工父级组 185
6.3.3 型腔铣粗加工 188
6.3.4 等高轮廓铣半精加工 195
6.3.5 固定轴曲面轮廓铣精加工 201
6.3.6 刀轨操作 207
6.4 实例总结 211
第 7 章 UG NX 7.0 喇叭玩具凹模高速加工实例 212
7.1 加工方法分析 212
7.2 加工流程与效果图 212
7.3 具体操作步骤 214
7.3.1 初始化加工环境 214

7.3.2 创建加工父级组......215
7.3.3 型腔铣粗加工......218
7.3.4 分型面型腔铣精加工......223
7.3.5 固定轴曲面轮廓铣精加工......230
7.4 实例总结......236
第 8 章 UG NX 7.0 鼠标凸模高速加工实例......237
8.1 加工方法分析......237
8.2 加工流程与效果图......237
8.3 具体操作步骤......239
8.3.1 初始化加工环境......239
8.3.2 创建加工父级组......240
8.3.3 型腔铣粗加工......244
8.3.4 等高轮廓铣半精加工......249
8.3.5 固定轴曲面轮廓铣精加工......254
8.3.6 陡峭面等高轮廓铣精加工......260
8.3.7 分型面型腔铣精加工......262
8.4 实例总结......267
第 9 章 UG NX 7.0 发动机叶轮高速加工实例......268
9.1 加工方法分析......268
9.2 加工流程与效果图......268
9.3 具体操作步骤......270
9.3.1 初始化加工环境......270
9.3.2 创建加工父级组......271
9.3.3 创建流道加工曲面和刀轴线......273
9.3.4 流道加工......275
9.3.5 左叶片侧面精加工......284
9.3.6 右叶片侧面精加工......290
9.3.7 旋转阵列操作......290
9.4 实例总结......291
参考文献......292

第 1 章　高速加工的专业知识

高速加工是相对于常规加工而言的一种技术。对高速加工的描述，国内外机构各有不同，分别如下：

① 国际生产工程学院CIRP切削委员会在1978年提出，线速度在500～7000m/min的切削加工为高速加工。

② 德国 Darmstadt 工业大学生产工程与机床研究所 PTW 提出，以高于普通切削速度 5～10 倍的切削加工为高速加工。

③ 对铣削加工而言，从刀具夹持装置达到平衡要求时的速度来定义高速加工，ISO1940 提出主轴转速超过 8000r/min 为高速加工。

④ 从主轴设计的角度，以沿用多年的主轴转速特征值 DN 值来定义高速加工，DN 值在（5～15）$\times 10^5$mm・r/min 时为高速加工。

⑤ 从主轴和刀具的动力学角度来定义，它取决于刀具振动的主模式频率，在 ANSI/ASME 标准中用来进行切削性能测试时选择转速范围。

本章将首先介绍高速加工的专业知识，包括高速加工的特点、高速加工机床、高速加工刀具以及高速加工工艺，使读者对高速加工有一个基础性的了解。

1.1　数控高速加工基础

高速加工与普通加工有很大的不同，具体如表 1-1 所示。

表 1-1　高速加工与普通数控加工的区别

项　　目	普通数控加工	高 速 加 工
主轴转速	一般不超过 6000r/min	约 10000r/min 以上
进给速度	一般不超过 10m/min	30～100m/min
加工余量	小于刀具半径	（0.1～0.2）刀具半径
切削力	大	小
运动传递方式	轴、齿轮	电主轴
刀具材料	普通刀具材料	超硬刀具材料
加工质量	一般	较好（*Ra*0.4）

（续）

项　　目	普通数控加工	高 速 加 工
加工时间	长	短
机床	普通机床（国产）	高速切削机床（进口）
机床价格	较低	较高
工艺流程	粗、半精、精、清根加工	粗、精加工

高速加工英文全称 High Speed Machining（HSM）或 High Speed Cutting（HSC）。一般认为，高速加工是指采用比常规切削速度和进给速度高得多（一般要大于 5～10 倍）的速度来进行高效加工的先进制造技术。高速加工一般采用高的主轴转速、高的进给速度、较小的背吃刀量，其切削速度伴随刀具材料的超硬耐磨性的发展而不断提高。现阶段，一般把主轴转速在 10000～20000r/min、进给速度在 30～100m/min 范围的切削归纳为高速加工。

1.1.1　高速加工的特点和应用

1．高速加工的特点

高速加工的特点主要有下面四点：

（1）减少机加工时间，获得高的加工效率　高速加工提高了切削速度和进给速度，使单位时间内金属材料的切除率增大，减少了加工时间。高速加工的精加工材料去除速度是常规加工的 4 倍以上；高速加工的粗加工材料去除率也可达到 $45cm^3/min$ 左右。此外，高速加工一般只需要进行粗、精加工，半精加工和清根加工可以省略，简化了工艺方案，机加工设备种类也有所减少。常规铣加工不能加工淬火后的材料，淬火变形必须人工修整或通过放电加工解决。高速加工可以直接加工淬火后的材料，省去了放电加工工序，消除了放电加工所带来的表面硬化问题，减少或免除了人工光整加工。由于高速加工采用极小的背吃刀量和小的切削宽度，所以可使更小的刀具加工细小的凹圆角和精细结构，从而免除了其他加工工序，减少了钳工的修整工作。在模具制造工业，高速加工为修模工作带来极大方便，以前只能由放电加工解决的修模工作，现在可以由高速加工利用原有的 NC 程序来准确无误地直接完成，不需要再编程。

（2）获得高的加工精度和表面质量　高速加工可以得到高质量的加工表面。由于高速加工采用极小的背吃刀量和小的切削宽度，因此可以得到高质量的加工表面，节省人工修光工序和放电加工工序。

1）高速加工时，背吃刀量很小，对同样的切削层，表现为切削力下降，工件变形减小。

2）由于高速加工的切削速度高，对工件的切削时间短，大量的切削热来不

及传导，就随切屑排出，切削温度下降，工件的热变形小，仅受一次热冲击，工件表面损伤轻，使得表面粗糙度值降低，可保持良好的表面力学性能，呈压应力状态。

3）高速加工时，与主轴转速相关的激振频率远远高于工艺系统的固有频率，对切削加工的不利因素，如振动等被削弱。

（3）高速加工可以加工薄壁零件　由于高速加工采用极小的背吃刀量和切削宽度，因此切削力较小，可以加工细长零件和薄壁零件。此外，高速加工时，随着切削速度的提高，切削剪切区温度升高，工件材料软化，材料屈服强度降低，使得单位时间切削力下降。因此，高速加工在航空工业中可成功切削厚度为 0.1mm 的铝薄壁件。

（4）加工环境友好　在一些精密加工中，如模具制造，型面加工多采用电加工。由于电加工会产生一些有害气体和烟雾，生产效率也不高，这同目前低能耗、与环境协调的绿色加工的发展方向不一致，所以用高速铣削加工来代替特种加工是模具制造业的一个发展方向。高速加工可以获得较好的表面质量（表面粗糙度值 *Ra* 可达到 0.4μm），这不仅可省去电火花加工后的磨削、抛光等工序，而且在工件表面上可形成压应力，提高模具的寿命。

2．高速加工的应用

高速加工是一项高新技术，它的基本特征为三高：高效率、高精度和高表面质量，因此在航空工业、汽车工业、模具工业和精密制造业等行业中的应用比较多。下面逐一介绍。

（1）航空工业　航空工业是高速加工的主要应用行业，例如飞机上的一些零件为了提高可靠性和降低成本，采用整体制造法，将原来由多个铆接或焊接而成的部件改成整体实心材料制造。有些整体构件的材料去除率高达 90%，而其中许多零件为薄壁、细肋结构，有的厚度甚至不到 1mm，由于刚度差，不允许有很大背吃刀量，因此高速切削成为此类零件加工工艺的唯一选择。采用高速切削加工可大大提高生产效率，降低成本。

此外，对于飞机材料中的难加工材料（如钛合金、高温合金及高强度合金），它们的切削加工性能差，普通加工只能采用低速切削，制造和应用都受到限制。采用高速加工后，切削力减小，切削热大部分都被切屑带走，工件温度不高，制造难度下降。

（2）汽车工业　现在汽车产品的样式越来越多样化，汽车产品的换型越来越快，由原来单一工件的大批量生产变成了多种工件较小批量叠加成的大批量生产。在汽车制造工业占统治地位的组合机床自动线虽然效率高，但却无法满足汽车行业快速更新的现实；而以高速加工技术为基础的敏捷柔性自动生产线被越来越多的国内外

汽车制造厂家所采用，如美国 GM 发动机总成工厂的高度柔性自动生产线、福特汽车公司和 Ingersoll 机床公司合作研制以 HVM800 卧式加工中心为主的汽车生产线。大批量生产的汽车行业面临产品快速更新换代而形成的多品种生产线来代替组合机床生产线，高速加工中心则将柔性生产的生产速度提升到组合机床生产线水平。

（3）模具工业　在模具行业高速切削采用的是典型的高转速、高进给、低切削量，可以取代传统的磨削加工、电火花加工以及光整加工，减少加工时间，缩短工艺流程，提高生产率。根据研究统计，采用高速加工可以使模具的制造周期缩短 30%～80%。

（4）精密制造业　在精密机械或光学仪器的制造中，尺寸精度、加工稳定性等往往要求较高。而采用高速加工时，激振频率很高，工作平稳，容易获得较高的尺寸精度。图 1-1 所示为汽车远光灯反光杯手板的数控高速加工。

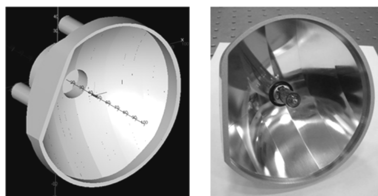


图 1-1　汽车远光灯反光杯手板的数控高速加工

1.1.2　高速加工机床的结构与分类

高速加工机床与普通加工机床存在很大不同，它必须能够提供高切削速度。在介绍机床结构与分类之前，首先对高速加工机床特点做一归纳。

1.1.2.1　高速加工机床特点

高速加工机床特点主要有：

（1）高速主轴单元及驱动系统　高速主轴系统是高速切削技术最关键的技术之一。高速主轴系统不仅要提供高的转速，而且要有高的同轴度、高的传递力矩和传动功率、良好的散热或冷却装置，并具有动平衡精度。主轴部件的设计要保证具有良好的动态和热态特性，具有极高的角加、减速度，来保证在极短的时间内实现升降速和在指定位置上准停。

高速加工机床与普通机床主轴单元的不同之处表现在：主轴转速一般为普通机床主轴转速的 5～10 倍，机床的最高转速一般都大于 10000r/min，有的高达 60000～100000r/min；主轴的加、减速度比普通机床高得多，一般比常规数控机床高出一个数量级，达到（1～8）g 的加速度，通常只需 1～2s 即可完成从起动到选定的最高转速（或从最高转速到停止）；主轴单元电动机功率一般高达 20～80kW，以满足高速、高效和重载荷切削的要求。

（2）高速进给系统和数控伺服驱动系统　在高速切削加工中，高速机床进给速度和其加、减速度也必须大幅度提高，同时，机床空行程运动速度也大大提高。

现代高速加工机床进给系统执行机构的运动速度要求达到 40～120m/min，进给加速度和减速度同样要求达到（1～8）g。因此，机床进给驱动系统的设计必须突破一般数控机床中的旋转伺服电动机+普通滚珠丝杠的进给传动模式。结构上采用的主要措施有：

1）大幅度减轻进给移动部件的重量，在结构上实现零传动，即直接采用直线电动机驱动。

2）采用多头螺纹行星滚珠丝杠代替常规钢球式滚珠丝杠；采用无间隙直线滚动导轨，实现进给部件的高速移动和快速准确定位。

3）采用快速反应的伺服驱动 CNC 控制系统。

（3）高刚体的床体结构　高速加工机床在高速切削状态下，一方面产生的切削力一般作用在床体上；另一方面因速度很高，还会产生较大的附加惯性力作用在床体上，因而机床床身受力较大。设计时，要求其具有足够高的强度、刚度和阻尼特性。此外，高刚性和阻尼特性也是高速加工中保证质量和提高刀具寿命的必备条件。

（4）热态特性和静动态特性优良　高速切削加工情况下，单位时间内其移动部件间因摩擦产生的热量较多，热变性较大，机床结构设计必须保证其在内部热源和外部热源的作用下，不产生较大的热变形。因此，高速切削加工机床一般要采取特殊的冷却措施来冷却主轴电动机、主轴支撑轴承、直线电动机、液压油箱、电气柜等，有的设置冷却主轴箱、横梁、床身等大部件。由于高速切削加工下的动态力（惯性力、切削力、阻尼力）和静态力（夹紧力）较大，机床各支撑部件和其总体必须要有足够的动、静刚度，不致产生较大的变形，保证零件的加工精度、加工安全和可靠性。

（5）换刀装置方便可靠　随着切削速度的提高、切削时间的不断缩短，对换刀时间要求也逐渐提高。缩短换刀时间对于提高加工中心的生产率就显得更加重要，也成为高水平加工中心的一项重要指标。自动换刀装置的高速化也是高速加工中心的重要技术内容。新型换刀结构的设计要保证高速切削加工下换刀方便、可靠、迅捷，换刀时间短。

（6）冷却系统高效快速　在高速切削加工条件下，单位时间内切削区域会产生大量的切削热，如果不能及时将这些热量迅速地从切削区域散出，不但妨碍切削工作的正常进行，而且会造成机床、刀具、工具系统的热变形，严重影响加工精度和动刚度。高速电主轴结构设计时，冷却系统设计也是不可忽略的一个重要方面。为了防止主轴部件在高速运转过程中出现过热现象，支撑轴承必须考虑采用有效的强制冷却方法。

（7）安全装置和实时监控系统　高速加工过程中若有刀具崩裂，飞出去的刀具碎片如同子弹出膛一般，易于造成人身伤害。因此，机床工作时必须用足够厚的钢板将切削区域封闭起来，同时还要考虑便于人工观察切削区状况。此外，工

件和刀具必须保证夹紧牢靠，必须采用主动在线监控系统，对刀具磨损、破损和主轴运行状况等进行在线识别和监控，确保操作人员和设备安全。

1.1.2.2 高速加工机床结构

高速加工机床与传统机床有很大的区别，主要包括高速主轴系统、高速进给系统、高速数控系统和高速加工监测系统等。下面分别阐述。

1．高速主轴系统

高速主轴在结构上大都采用交流伺服电动机直接驱动的集成化结构，取消了齿轮变速机构，采用电气无级调速，并配备强力的冷却和润滑装置。集成电动机主轴的特点是振动小、噪声小、体积紧凑。集成电动机主轴是把电动机转子与主轴做成一体，即将无壳电动机的空心转子用过盈配合的形式直接套装在机床主轴上，带有冷却套的定子则安装在主轴单元的壳体中，形成内装电动机主轴，简称为电主轴，如图 1−2 所示。电主轴电动机的转子就是机床的主轴，机床主轴单元的壳体就是电动机座，从而实现了变频电动机与机床主轴的一体化。这种传动方式把机床主传动链的长度缩短为零，实现了机床的零传动，有机构紧凑、易于平衡、传动效率高等特点。

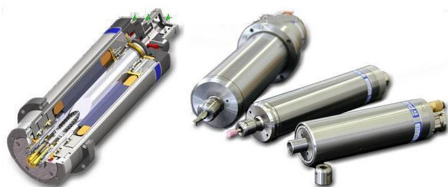


图 1−2 高速加工电主轴

（1）电主轴结构 高速电主轴的结构如图 1−3 所示。电主轴交流伺服电动机的转子套装在机床主轴上，电动机定子安装在主轴单元的壳体中，采用自来水或油冷循环系统，使主轴在高速旋转时保持恒定的温度。电主轴的基本参数有套筒直径、最高转速、输出功率、转矩等，其中，套筒直径为电主轴的主要参数。目前，国内外专业的电主轴制造厂可供应几百种规格的电主轴，其套筒直径为 32～320mm，转速为 10000～150000r/min，功率为 0.5～80kW。

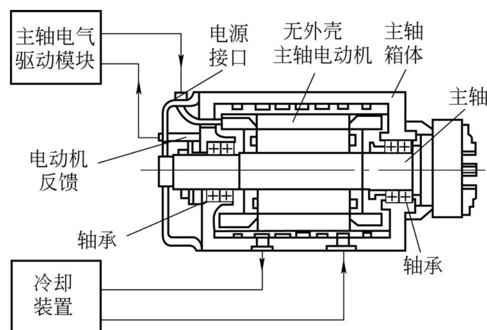


图 1−3 电主轴的结构

在电主轴中，电动机内置会带来不少问题，但在高速加工中，采用该措施几乎是唯一的选择，也是最佳的选择，原因如下：

1）如果电动机不内置，仍采用电动机通过带或齿轮等方式传动，则在高速运转条件下，由此产生的振动和噪声等问题很难解决，势必影响高速加工的精度、加工表面粗糙度，并导致环境质量的恶化。

2）高速加工的最终目的是为了提高生产率，相应地要求在最短时间内实现高转速的速度变化，即要求主轴回转时具有极大的角加、减速度。达到这个严酷要求的最经济的方法是将主轴传动系统的转动惯量尽可能减至最小，而只有将电动机内置，省掉齿轮、带等一系列中间环节，才能达到这个目的。

3）电动机内置主轴两支撑之间，与用带、齿轮等作为末端传动的结构相比，可以较大地提高主轴系统的刚度，也就提高了系统的固有频率，从而提高了其临界转速值。这样，电主轴即使在最高转速运转时，仍可确保低于临界转速，保证高速回转时的安全。

4）由于没有中间传动环节的外力作用，主轴高速运行没有冲击而更为平稳，使得主轴轴承寿命相应得到延长。

（2）电主轴的冷却和轴承的润滑　电主轴最突出的问题之一就是内装式高速电动机的发热问题，这与一般主轴部件不同。因为电动机安装在主轴的两支撑轴承的中央，所以电动机的发热会直接影响主轴轴承的工作精度，即影响主轴的工作精度。解决的办法之一就是在电动机定子的外面加一带螺旋槽的铝质冷却套。机床工作时，冷却油-水不断地在该螺旋槽中流动，从而把电动机放出的热量及时带走。冷却油-水的流量可根据电动机放出的热量计算确定。图 1-4 所示为电主轴的油-水热交换系统。

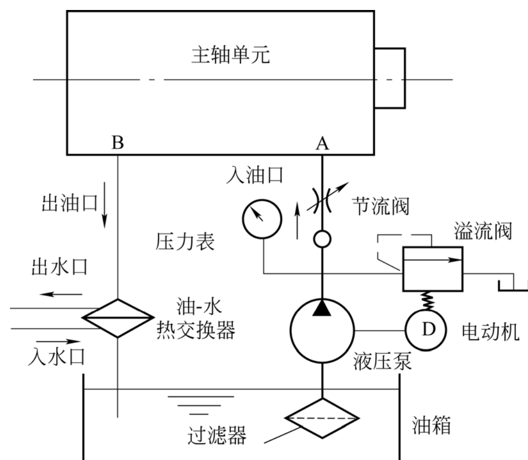


图 1-4　电主轴油-水热交换系统

另外，还必须解决主轴轴承的发热问题。由于电主轴的转速高，所以对主轴轴承的动态和热态特性要求十分严格。除个别超高速电主轴采用磁悬浮轴承或液体动

静压轴承外，目前，国内外绝大多数高速电主轴都采用角接触的 Si_3N_4 陶瓷滚珠轴承。为了降低主轴轴承的温升，电主轴轴承采用了油-气润滑系统，如图 1-5 所示。它利用分配阀，对所需润滑的不同部位按照其实际需要，定时、定量地供给油-气混合物，以保证轴承的各个不同部位既不缺润滑，又不会因润滑过量而造成更大的温升，并可将油雾污染降至最低程度。

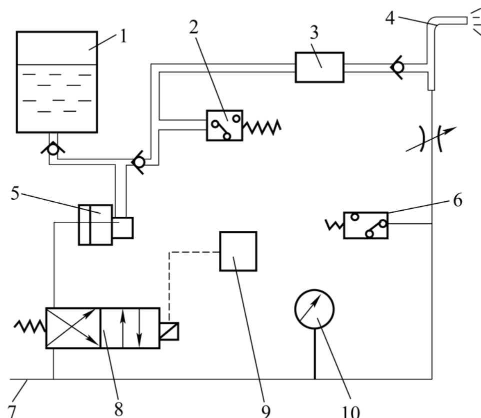


图 1-5　电主轴轴承油-气润滑系统

1—润滑油箱　2、6—压力开关　3—定量分配器　4—喷嘴　5—泵　7—压缩开关
8—电磁阀　9—时间继电器　10—压力表

2．高速进给系统

高速进给系统是高速数控机床的关键部件之一。目前，对高速机床进给系统的要求包括以下几项：

（1）高速度　由于高速机床的主轴转速比常规机床的要高得多，并且还有继续上升的趋势，因此，为了保证高速切削的顺利进行和减少空程时间、提高数控加工效率，要求进给系统必须提供足够高的进给速度。目前，高速机床对进给速度的基本要求为 60m/min，特殊情况可达到 120m/min，甚至更高。

（2）高加速度　由于大多数高速机床加工零件的工作行程范围只有几十毫米到几百毫米，如果不能提供很大的加速度来保证在瞬间达到高速和在高速行程中瞬间准停，高速度是没有意义的，因此，对高速机床进给运动的加速度也提出了很高的要求。目前，一般高速机床要求进给加速度为（1～2）g，某些高速机床要求加速度达到（2～10）g。

（3）高精度　精度是机床的关键指标，高速机床对精度的要求尤为突出。在高速运动情况下，进给驱动系统的动态性能对机床加工精度的影响很大，在设计高速机床进给系统时必须予以充分重视。此外，随着进给系统的不断提高，各坐标轴的跟踪误差对合成轨迹精度的影响将变得越来越突出，因此在开发新型高速

机床时，一方面要提高各坐标轴自身位置闭环控制的精度，另一方面也须从合成轨迹和闭环控制的角度来研究高速情况下轨迹的控制方法与实现技术。

（4）高可靠性和高安全性　在高速加工情况下，如果机床可靠性与安全性差，将会造成灾难性的后果，所以高速机床在这方面的要求比普通数控机床更加严格。一方面由于进给伺服系统是数控机床中强、弱之间的接口环节，其故障率一般比较高，对机床整机的可靠性造成的影响也比较大；另一方面进给系统包含有运动部件，高速下一旦失控，将非常危险。因此，提高高速进给系统的可靠性和安全性，对提高高速机床的整机性能具有重大的意义。

（5）合理的成本　在保证质量和性能的前提下，降低高速机床的制造成本，提高其性能价格比，是推广应用这类新型机床的关键。考虑到进给系统的成本在高速机床总成本中占有比较大的比重，因此采取有效措施降低进给系统的成本，对控制整机成本具有重要意义。

1）高速滚珠丝杠副进给系统。为了使传统的滚珠丝杠传动系统应用到高速机床中，国内外有关制造厂商不断采取措施，提高滚珠丝杠的高速性能。主要措施有：

① 适当加大丝杠的转速、导程和螺纹头数。目前，常用大导程滚珠丝杠名义直径与导程的匹配为 40mm×20mm、50mm×25mm、50mm×30mm 等，其进给速度均可达到 60m/min 以上。为了提高滚珠丝杠的刚度和承载能力，大导程滚珠丝杠一般采用双头螺纹，以提高滚珠的有效承载圈数。

② 改进结构，提高滚珠运动的流畅性。改进滚珠循环反向装置，优化回珠槽的曲线参数，采用三维造型的导珠管和回珠器，真正做到沿着内螺纹的导程角方向将滚珠引进螺母体中，使滚珠运动的方向与滚道相切而不是相交。这样可把冲击损耗和噪声减至最小。

③ 采用“空心强冷”技术。高速滚珠丝杠在运行时，由于摩擦产生高温，造成丝杠的热变形，直接影响高速机床的加工精度。采用“空心强冷”技术，就是将恒温切削液通入空心丝杠的孔中，对滚珠丝杠进行强制冷却，保持滚珠副温度的恒定。这个措施是提高中、大型滚珠丝杠高速性能和工作精度的有效途径。

④ 对于大行程的高速进给系统，可采用丝杠固定、螺母旋转的传动方式。此时，螺母一边转动、一边沿固定的丝杠作轴向移动，由于丝杠不动，可避免受临界转速的限制，避免了细长滚珠丝杠高速运转时出现的种种问题。螺母惯性小、运动灵活，可实现的转速高。

⑤ 进一步提高滚珠丝杠的制造质量。通过采用上述种种措施后，可在一定程度上克服传统滚珠丝杠存在的一些问题。日本和瑞士在滚珠丝杠高速化方面一直处于国际领先地位，其最大快速移动速度可达 60m/min，个别情况下甚至可达 90m/min，加速度可达 $15m/s^2$。由于滚珠丝杠历史悠久、工艺成熟、应用广泛、成本较低，因此在中等载荷、进给速度要求并不十分高、行程范围不太大（4～5m）

的一般高速加工中心和其他经济型高速数控机床上仍然经常被采用。

2）直线电动机进给驱动系统。1971 年后，直线电动机开始进入独立应用的时期，并得到了迅速的推广，制成了许多有实用价值的装置和产品，例如直线电动机驱动的钢管输送机、运煤机、各种电动门、电动窗等。利用直线电动机驱动的磁悬浮列车，速度已超过 500km/h，接近了航空飞行的速度。图 1-6 所示为直线电动机的模型。



图 1-6　直线电动机模型

直线电动机是一种将电能直接转换成直线运动机械能，而不需要任何中间转换机构的传动装置。它可以看成是一台旋转电动机按径向剖开，并展成平面而成，如图 1-7 所示。由定子演变而来的一侧称为初级，由转子演变而来的一侧称为次级。在实际应用时，将初级和次级制造成不同的长度，以保证在所需行程范围内初级与次级之间的耦合保持不变。直线电动机可以是短初级长次级，也可以是长初级短次级。考虑到制造成本、运行费用，目前一般均采用短初级长次级。

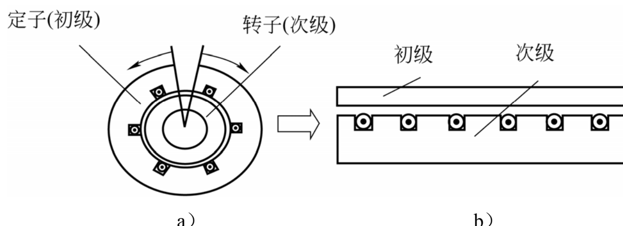


图 1-7　旋转电动机展开为直线电动机的过程

a）沿径向剖开　b）把圆周展成直线

直线电动机的工作原理与旋转电动机相似。以直线感应电动机为例：当初级绕组通入交流电源时，便在气隙中产生行波磁场；次级在行波磁场切割下，将感应出电动势并产生电流，该电流与气隙中的磁场相作用就产生电磁推力。如果初级固定，则次级在推力作用下作直线运动；反之，则初级作直线运动。

采用直线电动机驱动系统代替滚珠丝杠，可简化系统结构、提高定位精度、实现高速直线运动乃至平面运动。它具有以下特点：

① 精度高。由于取消了丝杠等机械传动机构，实现了零传动，可减少插补时因传动系统滞后带来的跟踪误差。利用光栅作为工作台的位置测量反馈元件进行闭环控制，通过反馈对工作台的位移进行精确控制，定位误差可达到 0.1～0.01μm。

② 速度快、加减速过程短。直线电动机直接驱动进给部件，取消了中间机械传动件，无旋转运动和离心力作用，可容易地实现高速直线运动。目前，由于采用直线电动机直接驱动进给部件，实现零传动的高速响应性而使其加减速过程大

大缩短，从而实现起动瞬间达到高速，高速运行时又能瞬间准停，其加速度可达到（2～10）g，最大进给速度可达到 80～180m/min。

③ 传动刚度高、推力平稳。由于采用直线电动机直接驱动进给部件，机床进给传动链的长度缩短为零，实现了机床的零传动，大大提高了其传动刚度；同时，直线电动机的布局可根据机床导轨的型面结构及其工作台运动时的受力情况来布置。

④ 高速响应性。由于机床进给传动链的长度缩短为零，在系统中取消了一些响应时间常数较大的机械传动件，使整个闭环控制系统动态响应性能大大提高。

⑤ 运行效率高、噪声低。由于无中间传动环节，消除了传动丝杠等部件的机械摩擦所导致的能量损耗，导轨副采用滚动导轨或磁垫悬浮导轨，无机械接触，使运动噪声大大下降。

⑥ 行程长度不受限制。在导轨上通过串联直线电动机的定件，可无限延长运动的行程长度。行程长度对整个系统的刚度不会有太大的影响。

3）并联结构的高速进给系统。现有高速机床的总体结构基本上采用工件和刀具共同运动的方案。在这类工件和工作台一体运动的常规结构中，由于工件、夹具和工作台的总重量比较大，不但增加了机床导轨中的摩擦阻力，需耗费较大的驱动功率，而且更为严重的是，要驱动大的质量体完成高加速度运动，将需要很大的推动力。这将显著提高直线伺服电动机的功率，既提高了机床成本又增加了发热，对机床加工精度造成不利影响。此外，传统高速机床结构是一种串联开链结构，组成环节多（特别是在多坐标机床中）、结构复杂，并且由于存在悬臂部件和环节间的连接间隙，不容易获得高的总体刚度，难以适应超高速加工进一步发展的要求。

采用基于 Stewart 平台原理的并联闭链多自由度驱动结构，构成了工件固定、刀具（主轴）运动的适合超高速加工中心的新方案，如图 1-8 所示。该机床的主轴单元由 6 根可变长度驱动杆支撑，6 根驱动杆的另一端固定于基础框架上。各驱动杆与主轴单元和基础框架的连接均采用可预紧的高刚度滚动结构，这样可使驱动杆不承受弯曲力矩且运动灵活。调节 6 根驱动杆的长度，可使主轴和刀具作六自由度运动，其中包括沿 3 个线性轴 X、Y、Z 的平移运动和沿 3 个转动轴 A、B、C 的旋转运动。由于驱动杆在切削力和温度变化作用下的受力变形和热变形主要影响杆的长度，因此通过对杆长进行闭环控制并对测量装置的误差进行实时补偿，可以有效校正杆长位移误差，使机床获得高的加工精度。在这一新型结构中，虽然需用 6 套进给伺服系统，但每一伺服系统的功率都比常规数控机床单个坐标的驱动功率小，因此总的进给驱动功率与常规机床相当，不会明显增加进给驱

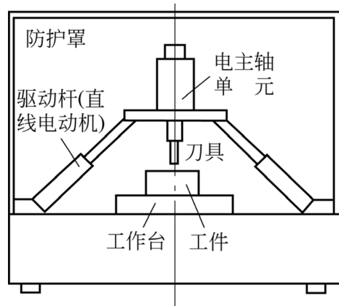


图 1-8　并联机床进给系统结构示意图

动部分的成本。

从总体上看，采用上述结构的超高速加工中心具有以下特点：

① 机械结构简单，零部件通用化、标准化程度高，易于经济化批量生产。此外，该机床整体重量轻，约为常规机床的 1/5～1/3，因此，原材料消耗少、加工量少，将进一步降低制造成本。

② 工件固定而主轴相对于工件作多自由度运动，因此将主轴部件做成电主轴单元，可以有较小的重量，非常有利于获得高的加速度。

③ 进给机构为空间并联机构，在驱动电动机速度相同的条件下，可以获得比采用串联结构的常规数控机床更高的进给速度，有利于满足超高速加工对进给速度的要求。

④ 六杆平台结构将传动与支撑功能集成为一体，6 根驱动杆既是机床的传动部件又兼做主轴单元的支撑部件，这不仅大幅度减小了摩擦阻力，有利于进一步提高进给速度与加速度，而且将有效减少工件—机床—刀具链中的环节，消除了这些环节带来的力变形和热变形，并可减少连接和传动间隙，提高接触刚度，有利于提高机床的综合精度。

⑤ 因机床的主体为并联闭链结构，消除了常规机床中的悬臂环节，经过合理设计，可使各驱动杆和有关部件只承受拉压力而不受弯曲力矩，因而使机床总体刚度进一步提高(可比一般加工中心高 5 倍左右)。如果在传动与控制上处理得当，可以使由此构成的新型机床达到比常规机床高得多的加工精度和加工质量。

⑥ 机床上不存在沿固定导轨运动的直线和旋转工作台，以及支承工作台所需的其他部件，因此，刀具在空间的定位精度和运动轨迹精度完全由传动、检测和控制来保证，从而彻底消除了导轨、工作台、立柱、横梁等引起的空间几何误差。

⑦ 利用该加工中心的主轴部件可作六自由度高速运动这一特点，让主轴直接参与换刀过程，不仅可使刀库配置位置灵活，而且可减少刀库运动的自由度，显著简化刀库和换刀装置的结构。更重要的是，换刀环节的减少和机械结构上的简化，将有效提高换刀的可靠性，这在自动化加工系统中是非常重要的。

3. 高速数控系统

高速加工机床的数控系统从基本原理上与普通数控机床的数控系统没有本质区别，只是由于主轴转速、进给速度和加减速度非常高，而且在进给方向上采用直线电动机驱动，对数控系统提出了更高的要求。

高速机床 CNC 数控系统应满足以下基本要求：为了适应高速，要求单个程度段处理时间短；为了在高速下保证加工精度，要有前馈和大量的超前程序段处理功能；要求快速形成刀具路径，此路径应尽可能圆滑，走样条曲线而不是驻点跟踪，少折点、无尖转点；程序算法应保证高精度；遇到干扰能迅速调整，保持

合理的进给速度，避免刀具振动等。

高速机床的 CNC 数控系统应具有以下特点：

1）采用 32 位 CPU、多 CPU 处理器以及 64 位 RISC 芯片结构，以保证高速处理程序段。因为在高速下要生成光滑、精确的复杂轮廓时，会使一个程序段的运动距离只等于 1mm 的几分之一，其结果使 NC 程序将包括几千个程序段。这样的处理负荷不但超过大多数 16 位控制系统，甚至超过 32 位控制系统的处理能力。超载的原因之一是控制系统必须高速阅读程序段，以达到高的切削速度和进给速度的要求；其二是控制系统必须预先做出加速或减速的决定，以防止滞后现象发生。

2）能迅速、准确地处理和控制信息流，把其加工误差控制在很小，同时保证控制执行机构运动平滑、机械冲击小。

3）CNC 要有足够的容量和很大的缓冲内存，以保证大容量的加工程序高速运行。同时，还要求系统具有网络传输功能，便于实现复杂曲面 CAD/CAM/CAE 的一体化。

总之，高速切削机床必须具有一个高性能数控系统，以保证高速下的快速反应能力和零件加工的高精度。

4．高速加工监测系统

高速加工监测系统的主要任务是在高速加工中，通过传感、分析、信号处理等，对高速机床及系统的状态进行实时在线的监测和控制，包括位置监测、刀具状态监测、工件状态监测以及机床工况监测等。

（1）位置监测　为了实现高精度加工，必须具有位置反馈系统。位置反馈系统用来监测和控制刀架或工作台等按数控装置的指令值移动的移动量，它是高速加工机床闭环伺服系统的重要组成部分。高速加工机床的常用测量元件有感应同步器、光栅、磁尺等。

位置监测是数控系统的关键之一，不同类型的数控机床对测量元件和测量系统的精度和速度要求也不同。一般数控机床要求测量元件的分辨力为 0.001～0.01mm，要求数控机床快速移动速度为 1～10m/min，并且抗干扰能力强，能适应机床的工作环境。在高速加工中，主轴最高转速高达 10^4～10^5r/min，最大进给速度为 10～100m/min，同时要求精度为 0.1～1μm。因此，提高传感器的响应速度和精度，发展适合高速度、高精度的位移和转速传感器；提高处理速度，发展高速数字跟踪位置测量系统是必然的趋势。

（2）刀具监测　在高速加工中，高速旋转的刀具承受很大的离心力，并且刀具的磨损直接影响到加工质量。因此，需要对刀具进行实时的监测和控制。目前，监控方法主要采用直接监控法和间接监控法。直接监控法是通过一定的测量手段来确定刀具材料在体积上或重量上的减少，并通过一定的数学模型来确定刀具的磨损或破损状态，包括光学图像法和接触电阻法。间接监控法是测量切削过程中

与刀具磨损或破损有很大内在联系的某一种或几种参数，或测量某种物理现象，根据其变化并通过一定的标定关系来监控刀具的磨损或破损状态，包括切削力监控法、振动监控法和声发射监控法等。

声发射监控法的主要缺点是不同的工艺系统互换性差，而且声发射传感器的定位安装也存在一定的困难。安装在刀具或工件上，虽然对信号采集有利，但实际应用存在一定困难；如果安装在主轴上或冷却喷管中，信号则会有一定程度的减弱；振动传感器的监控位置选择也困难，其理想的安装位置是加工工件的垂直表面，但在实际加工中却同样难以实现。因此，基于高速加工复杂性，如果仅使用单一的传感器对加工过程刀具状态进行预报，往往会出现误测、误报，所以在实际加工中需要多传感器融合技术来提高监测、预报的准确性。

（3）工件状态监测　在实际加工中，由于影响加工的因素较多，需要对加工中的工件进行实时的监测。工件状态监测主要是指在线监测，在加工过程中对工件的尺寸、形状、表面粗糙度等进行测定，并把测定的数据反馈到机床的进刀系统，以控制工具的准确位置，通常采用非接触式传感器来实现。

1.1.2.3　高速加工机床分类

高速加工机床是高速加工的载体，按照结构类型可分为卧式高速加工中心、立式高速加工中心和龙门高速加工中心。

1．卧式高速加工中心

如图 1-9 所示，卧式高速加工中心与普通的卧式加工机床相似，其主轴是水平设置的。一般的卧式高速加工中心有 3～5 个坐标轴，常配有一个回转轴（或回转工件台），主轴转速为 10～10000r/min，最小分辨率为 1μm，定位精度为 10～20μm。卧式高速加工中心刀库容量一般较大，有的刀库可存放几百把刀具。卧式高速加工中心的结构较立式高速加工中心复杂、体积和占地面积较大、价格也较高，较适于加工箱体类零件。只要一次装夹在回转工作台上，即可对箱体（除顶面和底面之外）的四个面进行铣、镗、钻、攻螺纹等加工。



图 1-9　卧式高速加工中心

卧式高速加工中心程序调试时，不如立式高速加工中心直观、容易观察，对工件检查和测量也不方便，且对复杂零件的加工程序调试时间是正常加工的几倍，所

以加工的工件数量越多，平均每件占用机床的时间越少。因此，用卧式高速加工中心进行批量加工才合算。但它可实现普通设备难以达到的精度和质量要求，因此一些精度要求高、其他设备无法达到其精度要求的工件，特别是一些空间曲面和形状复杂的工件，即使是单件生产，也可考虑在卧式高速加工中心上加工。由此可见，卧式高速加工中心既是高效、高质量的自动化生产设备，又是攻克工艺难题的设备。

2．立式高速加工中心

立式高速加工中心采用普通立式加工的形式，刀具主轴垂直设置，能完成铣削、镗削、钻削、攻螺纹等多工序加工，适宜加工高度尺寸较小的零件。但立式高速加工中心在普通立式加工中心的基础上作了两个方面的改进，一方面由电主轴单元代替了原来的主轴系统；另一方面改变了机床的进给运动分配方案，由工作台运动变成刀具主轴（立柱）作进给运动，工作台固定不动。为了减轻运动部件的重量，刀库和换刀装置不宜再装在立柱的侧面，而把它固定安装在工作台的一侧，由立柱快速移动到换刀位置进行换刀。图 1-10 为德国哈默 HERMLE 立式高速加工中心，表 1-2 为它的技术参数。

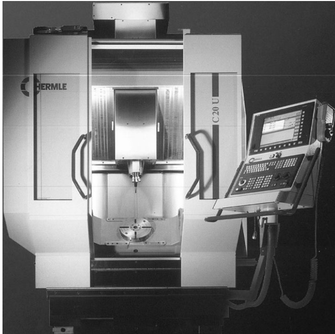


图 1-10　德国哈默 HERMLE 立式高速加工中心

表 1-2　德国哈默 HERMLE 立式高速加工中心技术参数

技 术 参 数	参　　数
X 轴行程/mm	600
Y 轴行程/mm	450
Z 轴行程/mm	450
主轴转速/（r/min）	10000/16000/40000
X、Y、Z 快速移动速度/（m/min）	45
控制系统	iTNC530/S840D
夹紧工作台尺寸/mm	800×465
工作台最大承重/kg	1000
内置数控回转摆动工作台（在夹紧工作台内）/（°）	±115

3. 龙门高速加工中心

龙门高速加工中心立轴多为垂直设置，除带有自动换刀装置外，还带有可更换主轴头附件，数控装置功能齐全。为了实现龙门高速加工中心的高速化，需将机床结构和运动分配进行一些调整。普通龙门式机床采用工作台进给，但由于工作台重量大，加之加工的往往又是重型零件，要想实现工作台高速、高加减速度运动比较困难。因此，在高速加工机床中采用双墙式结构支撑横梁，横梁在墙式支撑上可进行快速进给运动，调整工作台进给为横梁进给运动。

图 1-11 为意大利 POSEIDON 系列五轴联动桥式龙门高速加工中心。它采用高刚性桥式结构、龙门电气双驱、齿轮齿条结构、高动态特性、模块化设计、高功率、高转速。该设计确保了机床的高精度、高动态特性、高刚性和高稳定性，适合任何非金属材料和轻铝合金材料的中、大型工件的五轴联动加工。表 1-3 为 POSEIDON 系列五轴联动桥式龙门高速加工中心技术参数。

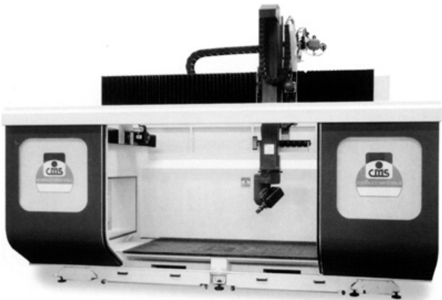


图 1-11　意大利 POSEIDON 系列五轴联动桥式龙门高速加工中心

表 1-3　意大利 POSEIDON 系列五轴联动桥式龙门高速加工中心技术参数

技 术 参 数	参　　数
X 轴行程/mm	3800/5300/6800/8300/9800/11700
Y 轴行程/mm	3100/3300
Z 轴行程/mm	1200/1500/1800
龙门立柱跨距/mm	4470
主轴端部至工作台距离/mm	最低点：0～500，最高点：1500～2050
最大进给速度/（m/min）	30
最大加速度/（m/s^2）	3
最大转速/（r/min）	10000，8000
最大输出功率/kW	26，32
最大输出扭矩/N・m	500，611
断面尺寸/mm	590×590

1.1.3　高速加工刀具材料和结构

高速加工时，产生的切削热和对刀具的磨损比普通速度切削时要高得多，因此要求高速刀具切削部分的材料要能承受高温、高压、强烈的摩擦、冲击和振动，具体有：

① 高的硬度。刀具材料的硬度必须高于工件材料的硬度，刀具材料的常温硬度一般要求在 60HRC 以上。

② 高的耐磨性。一般刀具材料的硬度越高，耐磨性越好。

③ 足够的强度和韧性。即可以承受切削力、冲击和振动，而不至于产生崩刃和折断。

④ 高的耐热性（热稳定性）。耐热性是指刀具材料在高温下保持硬度、耐磨性、强度和韧性的能力。

⑤ 良好的热物理性能和耐热冲击性能。即刀具材料的导热性能要好，不会因受到大的热冲击产生刀具内部裂纹而导致刀具断裂。

⑥ 良好的工艺性能。即刀具材料应具有良好的锻造性能、热处理性能、焊接性能、磨削加工性能等。

下面对高速加工的刀具材料做一详细介绍。

1.1.3.1　高速加工刀具材料及选择

目前，国内外用于高速加工的刀具材料包括硬质合金涂层刀具、陶瓷刀具、聚晶金刚石（PCD）和立方氮化硼，下面进行具体叙述。

1．常用高速加工刀具材料

（1）硬质合金涂层刀具　硬质合金刀具的使用开始于 20 世纪 40 年代，20 世纪 70 年代以前都是使用无涂层的硬质合金，而现在使用的硬质合金刀具有三分之二以上是经过涂层处理的。

硬质合金是用高耐热性和高耐磨性的金属碳化物（碳化钨、碳化铁、碳化钽、碳化铌等）与金属粘结剂（钴、镍、钼等）在高温下烧结而成的粉末冶金制品。硬质合金刀具材料的问世，使切削加工水平出现了一个飞跃，但由于刀具的耐热性和耐磨性差，适应不了高速切削。刀具磨损机理研究表明，在高速切削时，刀尖温度将超过 900° C，此时刀具的磨损不仅是机械磨损（后面磨损），还有粘接磨损、扩散磨损以及氧化磨损（刀具刃口磨损和月牙洼磨损的主要形式）。因此，高速下能够切削的刀具材料需要更高的硬度和耐热性、耐磨性。采用刀具涂层技术，在硬质合金刀片上加上一层或多层高性能的材料，就可以使硬质合金刀具不仅能够发挥本身的优势，而且可以进行高速切削。刀具涂层技术使硬质合金焕发了青春，而且涂层硬质合金刀具在高速切削钢和铸铁时能获得良好的效果。

1）刀具涂层技术。刀具涂层技术目前主要采用两种方法：CVD（化学气相

沉积）和 PVD（物理气相沉积）。

CVD 是在相当高的温度下，混合气体与工件表面相互作用，使混合气体中的某些成分分解，并在工件表面形成一种金属或化合物固态薄膜或镀层。CVD 的反应温度取决于沉积物的特性，通常为 900～2000℃。

PVD 是 Physical Vapor Deposition（物理气相沉积）的缩写，是指在真空条件下，采用低电压、大电流的电弧放电技术，利用气体放电使靶材蒸发并使被蒸发物质与气体都发生电离，利用电场的加速作用，使被蒸发物质及其反应产物沉积在工件上。物理气相沉积方法有真空镀、真空溅射和离子镀三种，目前应用较广的是离子镀。离子镀是借助于惰性气体辉光放电，使镀料（如金属钛）汽化蒸发离子化，离子经电场加速，以较高能量轰击工件表面，此时如通入 CO_2、N_2 等反应气体，便可在工件表面获得 TiC、TiN 覆盖层，硬度高达 2000HV。离子镀的重要特点是沉积温度只有 500℃左右，且覆盖层附着力强，适用于高速钢工具、热锻模等。

与 CVD 工艺相比，PVD 工艺处理温度低，在 600℃以下时对刀具材料的抗弯强度无影响；薄膜内部应力状态为压应力，更适于对硬质合金精密复杂刀具的涂层；PVD 工艺对环境无不利影响，符合现代绿色制造的发展方向。目前，PVD 涂层技术已普遍应用于硬质合金立铣刀、钻头、阶梯钻、油孔钻、铰刀、丝锥、可转位铣刀片、异形刀具、焊接刀具等的涂层处理。

2）涂层刀具的特点。涂层刀具结合了基体高强度、高韧性和涂层高硬度、高耐磨性的优点，提高了刀具的耐磨性而不降低其韧性。涂层刀具通用性广、加工范围显著扩大，使用时可以获得明显的经济效益。一种涂层刀具可以替代数种非涂层刀具使用，因此可以大大减少刀具的品种和库存量、简化刀具管理、降低刀具和设备成本。但是刀具以现有的涂层工艺进行涂层后，因基体材料和涂层材料性质差别较大、涂层残留内应力大，涂层和基体之间的界面结合强度低，涂层容易剥落，而且涂层过程中还造成基体强度下降、涂层刀片重磨性差、涂层设备复杂、工艺要求高、涂层时间长、刀具成本上升等缺点。

（2）TiC（TiN）基硬质合金　TiC（TiN）基硬质合金是以 TiC 为主要成分的合金，其性能介于陶瓷和硬质合金之间。由于 TiC（TiN）基硬质合金有接近于陶瓷的硬度和耐热性，加工时与钢的摩擦系数小，且抗弯强度和断裂韧度比陶瓷高。因此，TiC（TiN）基硬质合金可作为高速切削加工刀具材料，用于精车时，切削速度比硬质合金提高 20%～50%。

TiC（TiN）基硬质合金既具有陶瓷的高硬度，又具有硬质合金的高强度，用于可转位刀片，还能焊接。TiC（TiN）基硬质合金不仅可用于精加工，而且也扩大到半精加工、粗加工和断续切削。

（3）陶瓷刀具　陶瓷具有很高的硬度、耐磨性及良好的高温性能，与金属亲和力小，并且化学稳定性好。因此，陶瓷刀具可以加工传统刀具难以加工的高硬材料，

实现以切代磨，从而避免退火，简化工艺，大幅度地节省了工时和电力。陶瓷刀具的最佳切削速度可比硬质合金刀具高 3～10 倍，而且寿命长，可以大大提高切削效率。用于高速加工的陶瓷刀具包括氧化铝陶瓷、氮化硅陶瓷等。氧化铝陶瓷刀具是以氧化铝为主要成分，热压或冷压成形并在高温下烧结而成的一种刀具材料。陶瓷刀具的主要缺点是强度和韧性差，热导率低。由于陶瓷刀具脆性大、抗弯强度和韧性低，因此承受冲击的能力差；其热导率仅为硬质合金的 1/3～1/2，但线膨胀系数却比硬质合金高出 10%～30%，因而抗热冲击性能也差。当温度突变时，容易生成裂纹，导致刀具破损。用陶瓷刀具切削时，不要使用切削液。

陶瓷刀具具有硬度高、价格低的优点，在改进烧结制造工艺和采取增韧措施后，陶瓷刀具的强度和韧性大幅度提高，适于对高硬度淬硬钢进行干切削。研究表明，大多数的硬质合金刀具，包括涂层刀具都不适合切削硬度大于 58HRC 的淬硬钢。陶瓷刀具和立方氮化硼刀具都具有很高的显微硬度和热稳定性，是干切削淬硬钢比较理想的刀具，但立方氮化硼刀具价格昂贵，且抗弯强度和断裂韧度比较低，而陶瓷刀具资源丰富，价格不到立方氮化硼刀具的一半，因此采用陶瓷刀具更合适。随着陶瓷强化技术的进一步发展，在高速精加工、半精加工、干切削和硬切削中，陶瓷刀具将会发挥更大的作用。

（4）立方氮化硼刀具　立方氮化硼（Cubic Boron Nitride，CBN）是用六方氮化硼为原料，利用超高温高压技术制成的一种无机超硬材料。聚晶立方氮化硼（PCBN）是在高温高压下将微细的 CBN 材料通过结合相烧结在一起的多晶材料，晶粒中的 *w*（CBN）为 50%～60%时，具有很高的抗压强度和化学稳定性，主要用于硬切削。由于受 CBN 制造技术的限制，目前制造直接用于切削大颗粒的 CBN 刀具仍有困难，因此 PCBN 发展较快，PCBN 的性能主要受其中的 CBN 含量、CBN 粒径和结合剂的影响。

立方氮化硼刀具具有很多优点，包括很高的硬度和耐磨性、较高的热稳定性、优良的化学稳定性、良好的热导性、较低的摩擦系数。虽然 CBN 刀具有很多优点，但也有缺点，如脆性大、强度及韧性较差，抗弯强度大约只有陶瓷刀具的 1/5～1/2，故一般只用于精加工。

目前，立方氮化硼刀具最适合高硬度淬火钢、高温合金、可切削轴承钢（60～62HRC）、工具钢（57～60HRC）、高速钢（63HRC）等材料的高速加工。在淬硬模具钢的加工中，用 CBN 刀具进行高速切削，可以起到以铣代磨的作用，大大减少了手工修光工作量，从而可大幅度提高加工效率。低含量 CBN（*w*（CBN）=45%～65%）主要用于精加工 45～61HRC 的淬硬钢；高含量 CBN（*w*（CBN）=80%～90%）主要用于粗、半粗加工镍、铬铸铁，断续切削淬硬钢，高速切削铸铁、硬金属、烧结金属与重合金等。

（5）金刚石刀具　金刚石分为天然金刚石和人造金刚石。天然金刚石具有自

然界物质中最高的硬度和热导率，但由于价格昂贵，加工、焊接都非常困难，除少数特殊用途外（如手表精密零件、光饰件和首饰雕刻等的加工），很少作为切削工具应用在工业中。随着高技术和超精密加工的日益发展，例如微型机械的微型零件，原子核反应堆及其他高技术领域的各种反射镜、导弹或火箭中的导航陀螺，计算机硬盘芯片、加速器电子枪等超精密零件的加工，单晶天然金刚石能满足上述要求。近年来开发了多种化学机理研磨金刚石刀具的方法和保护气体钎焊金刚石技术，使天然金刚石刀具的制造过程变得比较简易。因此，在超精密镜面切削的高技术应用领域，天然金刚石刀具起到了重要作用。

20 世纪 50 年代利用高温高压技术人工合成金刚石粉以后，20 世纪 70 年代制造出金刚石基的切削刀具，即聚晶金刚石（PCD）。PCD 晶粒呈无序排列状态，不具方向性，因而硬度均匀。它有很高的硬度和导热性，低的线膨胀系数；高的弹性模量和较低的摩擦系数，切削刃非常锋利；可加工各种有色金属和极耐磨的高性能非金属材料，如铝、铜、镁及其合金、硬质合金、纤维增塑材料、金属基复合材料、木材复合材料等。

金刚石刀具具有以下特点：极高的硬度和耐磨性、很低的摩擦系数、切削刃非常锋利、较低的线膨胀系数、PCD 刀具与有色金属和非金属材料间的亲和力很小等。因此，金刚石刀具是目前高速切削（2500～5000m/min）铝合金较理想的刀具材料，但由于碳对铁的亲和作用，特别是在高温下，金刚石能与铁发生化学反应，因此不宜于切削铁及其合金工件。

2. 高速加工刀具材料的选择

目前广泛应用的高速加工刀具材料主要有金刚石、立方氮化硼、陶瓷、涂层硬质合金等，而且每一类刀具都有其特定的加工范围，只能适应一定的工件材料和一定的切削速度范围。因此，高速加工刀具材料必须根据所加工的工件和加工性质来选择。

一般而言，PCBN 刀具、陶瓷刀具、涂层硬质合金及 TiC 基硬质合金刀具适合于钢铁等黑色金属的高速加工；而 PCD 刀具适合于对铝、镁、铜等有色金属及其合金和非金属的高速加工。各种刀具材料所适合加工的工件材料如表 1-4 所示。

表 1-4 各种刀具材料所适合加工的工件材料

刀具材料 \ 工件材料	高硬钢	耐热合金	钛合金	镍基高温合金	铸铁
PCD	×	×	●	×	×
PCBN	●	●	▲	●	▲
陶瓷	●	●	×	●	●
涂层硬质合金	▲	●	●	▲	●

●—优　▲—良　×—不适合

（1）铝合金

1）易切削铝合金：该材料在航空航天工业中应用较多，适用的刀具有 K10、K20、PCD，切削速度在 2000～4000m/min，进给速度在 3～12m/min，刀具前角为 12°～18°、后角为 10°～18°、刃倾角可达 25°。

2）铸铝合金：铸铝合金根据其 Si 含量的不同，选用的刀具也不同。对 w（Si）<12%的铸铝合金，可采用 K10、Si_3N_4 刀具；当 w（Si）>12%时，可采用 PKD（人造金刚石）、PCD 及 CVD 金刚石涂层刀具；对于 w（Si）=16%～18%的过硅铝合金，最好采用 PCD 或 CVD 金刚石涂层刀具，其切削速度可在 1100m/min，进给量为 0.125mm/r。

（2）铸铁　对铸件，切削速度大于 350m/min 时，称为高速加工，切削速度对刀具的选用有较大影响；当切削速度低于 750m/min 时，可选用涂层硬质合金、金属陶瓷；切削速度在 510～2000m/min 时，可选用 Si_3N_4 陶瓷刀具；切削速度在 2000～4500m/min 时，可使用 CBN 刀具。铸件的金相组织对高速加工刀具的选用有一定影响，加工以珠光体为主的铸件，在切削速度大于 500m/min 时，可使用 CBN 或 Si_3N_4；当以铁素体为主时，由于扩散磨损的原因，使刀具磨损严重，不宜使用 CBN，而应采用陶瓷刀具。如粘结相为金属 Co、晶粒尺寸平均为 3μm、w（CBN）为 90%～95%的 BZN6000 在切削速度等于 700m/min 时，宜加工高铁素体含量的灰铸铁。粘结相为陶瓷（AlN＋AlB_2）、晶粒尺寸平均为 10μm、w（CBN）为 90%～95%的 Amborite 刀片，在加工高珠光体含量的灰铸铁时，在切削速度小于 1100m/min 时，随切削速度的增加，刀具寿命也增加。

（3）普通钢　切削速度对钢的表面质量有较大的影响，根据德国 Darmstadt 大学 PTW 所的研究，其最佳切削速度为 500～800m/min。目前，涂层硬质合金、金属陶瓷、非金属陶瓷、CBN 刀具均可作为高速切削钢件的刀具材料。其中，涂层硬质合金可用切削液。用 PVD 涂层方法生产的 TiN 涂层刀具，其耐磨性能比用 CVD 涂层法生产的涂层刀具要好，因为前者可很好地保持刃口形状，使加工零件获得较高的精度和表面质量。金属陶瓷刀具占日本刀具市场的 30%，以 TiC-Ni-Mo 为基体的金属陶瓷化学稳定性好，但抗弯强度及导热性差，适于切削速度在 400～800m/min 的小进给量、小切削深度的精加工；Carboly 公司用 TiCN 作为基体、结合剂中少钼多钨的金属陶瓷将强度和耐磨两者结合起来；Kyocera 公司用 TiN 来增加金属陶瓷的韧性，其加工钢或铸铁的切削深度可达 2～3mm。CBN 可用于铣削含有微量或不含铁素体组织的轴承钢或淬硬钢。

（4）高硬度钢　高硬度钢（40～70HRC）的高速加工刀具材料可用金属陶

瓷、陶瓷、TiC 涂层硬质合金、PCBN 等。金属陶瓷可用基本成分为 TiC 添加 TiN 的金属陶瓷，其硬度和断裂韧度与硬质合金大致相当，而热导率不到硬质合金的 1/10，并具有优异的耐氧化性、抗粘结性和耐磨性。另外，其高温下力学性能好，与钢的亲和力小，适合于中高速（在 200m/min 左右）的模具钢 SKD 加工。金属陶瓷尤其适合于切槽加工。采用陶瓷刀具可切削硬度达 63HRC 的工件材料，如进行工件淬火后再切削，实现“以切代磨”。切削淬火硬度达 48～58HRC 的 45 钢时，切削速度可取 150～180m/min，进给量在 0.3～0.4r/min，切削深度可取 2～4mm。粒度在 1μm、*w*（TiC）在 20%～30%的 Al_2O_3-TiC 陶瓷刀具，在切削速度为 100m/min 左右时，可用于加工具有较高抗剥落性能的高硬度钢。

当切削速度高于 1000m/min 时，PCBN 是最佳刀具材料。*w*（CBN）>90%的 PCBN 刀具适合加工淬硬工具钢（如 55HRC 的 H13 工具钢）。

（5）高温镍基合金 Inconel 718 镍基合金是典型的难加工材料，具有较高的高温强度、动态剪切强度，热扩散系数较小，切削时易产生加工硬化，这将导致刀具切削区温度高、磨损速度加快。高速切削该合金时，主要使用陶瓷和 CBN 刀具。

Al_2O_3-SiC 陶瓷切削速度在 100～300m/min 时，可获得较长的刀具寿命。切削速度高于 500m/min 时，添加 Al_2O_3-TiC 陶瓷刀具磨损较小，而在 100～300m/min 时其缺口磨损较大。氮化硅陶瓷（Si_3N_4）也可用于 Inconel 718 合金的加工。

加拿大学者 M A Elbestawi 认为，Al_2O_3-SiC 陶瓷加工 Inconel 718 的最佳切削条件：切削速度为 700m/min，切削深度为 1～2mm，进给量为 0.1～0.18mm/z。

氮氧化硅铝（Sialon）陶瓷韧性很高，适合于切削过固溶处理的 Inconel 718（45HRC）合金，Al_2O_3-SiC 陶瓷适合于加工硬度低的镍基合金。

（6）钛合金（Ti6Al6V2Sn） 钛合金强度、冲击韧性大，硬度稍低于 Inconel 718 合金，但其加工硬化非常严重，故在切削加工时出现温度高、刀具磨损严重的现象。日本学者经过大量实验得出，用直径 10mm 的硬质合金 K10 两刃螺旋铣刀（螺旋角为 30°）高速铣削钛合金，可达到满意的刀具寿命，切削速度可达 628m/min，每齿进给量可取 0.06～0.12mm/z，连续高速车削钛合金的切削速度不宜超过 200m/min。

（7）复合材料 航天用的先进复合材料（如 Kevlar 和石墨类复合材料），以往用硬质合金和 PCD，硬质合金的切削速度受到限制，而在 900℃以上高温下 PCD 刀片与硬质合金或高速钢刀体焊接处熔化，用陶瓷刀具则可实现 300m/min 左右的高速切削。

适于干切削工艺的刀具材料有陶瓷、金属陶瓷、涂层硬质合金及 PCBN。就热硬性和热稳定性来说，PCBN 是最适合高速干切削工艺的刀具材料，能获得比

湿切削更高的刀具寿命。

1.1.3.2　高速加工刀具的结构

高速加工刀具系统由装夹刀柄与切削刀具组成，刀具系统的装夹刀柄与机床接口相配，切削刀具直接加工被加工零件。刀具系统接口技术包括刀具-刀柄接口技术与刀具-机床接口技术，下面具体介绍。

1．刀具–刀柄接口技术

刀柄对刀具夹持力的大小和夹持精度的高低，在高速加工中具有十分重要的意义。如果刀柄对刀具夹持不牢固，轻则降低加工精度，重则导致刀具及工件损坏，甚至引发安全事故。提高刀具系统夹持精度，就必须设法使刀具得到精密可靠定位；确保足够夹持力，就必须严格控制和提高刀具系统配合精度、加大夹持长度、优化结构设计及合理选材。目前，适宜高速加工的刀具夹头主要有以下几种：

（1）热缩夹头　利用刀柄装刀孔热胀冷缩使刀具可靠夹紧，它是一种无夹紧元件的夹头，结构简单对称，夹紧力大。

（2）高精度弹簧夹头　由日本大昭和精机株式会社生产的高精度弹簧夹头，采用锥角 12° 的锥套，所有夹头都经平衡修整，以适应高速加工的要求。目前，这种夹头的转速可达 30000～40000r/min。

（3）高精度液压夹头　BlG-PLUS 刀具系统的高精度液压夹头采用两点夹持的一体型构造，具有很高的夹持力和夹持精度，且减小了夹头重量。

（4）高精度静压膨胀式夹头　由德国雄克公司生产的高精度静压膨胀式夹头，通过拧紧加压螺栓提高油腔内的油压，使油腔内壁均匀对称地向轴线方向膨胀，以夹紧刀具。该夹头夹持精度极高，其径向圆跳动小于 3μm。

（5）三棱变形夹头　该夹头利用夹头本身的变形力夹紧刀具，其自由状态为三棱形。装夹刀具时，利用液力作用使夹头内孔变为圆形，撤销外力后，内孔重新收缩为三棱形，以实现对刀具三点夹紧。该夹头具有结构紧凑、定位精度高（可达 3μm 以下）且对称、刀具装夹简单等特点。

2．刀具-机床接口技术

常规数控机床通常采用 7:24 锥度实心长刀柄的 BT 工具系统，目前共有五种规格且已实现标准化，即 NT（传统型）、DIN69893（德国标准）、ISO7388/1（国际化标准）、ANSI（美国标准）、ASME（美国标准）和 BT（日本标准）。其中，BT（7:24 锥度）刀柄结构简单、成本低以及使用便利而得以广泛应用，如图 1–12 所示。



图 1-12 BT 刀柄

BT 刀柄的锥度为 7:24，转速在 10000r/min 左右时，刀柄-主轴系统还不会出现明显的变形；但当主轴转速从 10000r/min 升高到 40000r/min 时，由于离心力的作用，主轴系统的端部将出现较大变形；其径向圆跳动急剧增加到 15μm 左右。刀柄与主轴锥孔间将出现明显的间隙，严重影响刀具的切削特性，因此 BT 刀柄一般不能用于高速切削。

为了克服传统刀柄仅仅依靠锥面定位导致的不利影响，一些科研机构和刀具制造商研究开发了一种能使刀柄在主轴内孔锥面和端面同时定位的新型连接方式——两面约束过定位夹持系统。该系统具有很高的接触刚度和重复定位精度，夹紧可靠。目前，该系统主要有短锥柄和 7:24 长锥柄两种形式。虽然 7:24 长锥柄具有与传统 BT 刀柄可以互换、可方便安装于主轴锥孔锥度为 7:24 的机床上、可提高刀柄与主轴的连接刚度和精度等优点，但从切削速度日趋提高的高速加工的发展趋势来看，锥度为 1:10 的短锥柄的刀柄结构的发展前景更为广阔。目前，短锥柄的两面约束刀柄主要有 HSK、KM、NT、BIG-PLUS 等几种。

（1）HSK 工具系统 HSK（德文 Hohl Shaft Kegel 缩写）刀柄是由德国阿亨工业大学机床实验室研制的一种双面夹紧刀柄，为 1:10（2°51′78″）锥度，采用锥面（径向）和法兰端面（轴向）双面定位和夹紧，如图 1-13 所示。

工作时，空心短锥柄与主轴锥孔能完全接触，起到定心作用，保证主轴的连接刚性。在拉紧机构作用下，拉杆向右移动，此时刀柄前端锥面的弹性夹爪会径向扩张，同时夹爪的外锥面与空心短锥柄内孔的 30° 锥面开始接触配合。此时，空心短锥柄出现弹性变形，其端面与主轴端面靠紧，消除 HSK 刀柄法兰盘与主轴端面间隙（约 0.1mm），如图 1-14 所示。



图 1-13　HSK 工具系统

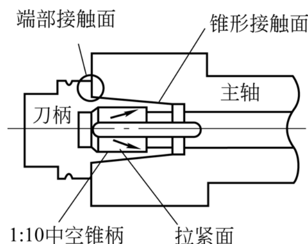


图 1-14　HSK 双重定位结构

HSK 工具系统的突出特征是采用端面和锥面同步接触双重定位，保证配合可靠性。类似 BT 锥柄，HSK 刀柄的径向精度取决于锥面接触特性（二者的径向精度最高可达 0.2μm）。HSK 接口的轴向精度取决于接触端面，与轴向夹紧力无关，仅由结构决定，这与 BT 锥柄显著不同。HSK 刀柄的另一个特征是空心锥柄，以较小夹紧力产生足够弹性变形，空心薄壁的径向膨胀量与主轴内锥孔变形对应。空心柄部还为夹紧拉钉提供了安装位置，实现由内向外夹紧，空心柄部还可内置切削液。采用内夹紧方式可使离心力化为夹紧力，保证高速旋转的刀柄夹紧可靠。HSK 刀柄特征之三是采用 1:10 的小锥度，可减小锥面部分的夹紧力，提高 HSK 接口的承载能力，同时又能够保证锥部良好的定位作用。

（2）KM 工具系统　KM 刀柄是 1987 年美国 Kennametal 公司与德国 Widia 公司联合研制的 1:10 短锥空心刀柄，其长度仅为标准 7:24 锥柄长度的 1/3，如图 1-15 所示。在夹紧机构拉杆上设有两个对称的圆弧凹槽，该槽底为两段弧形斜面。夹紧刀柄时，拉杆向右移动，钢球沿凹槽的斜面被推出，卡在刀柄上的锁紧孔斜面上。刀柄向主轴孔内拉紧后，薄壁锥柄产生弹性变形，使刀柄端面与主轴端面贴紧，实现锥面和端面同时接触双面定位。

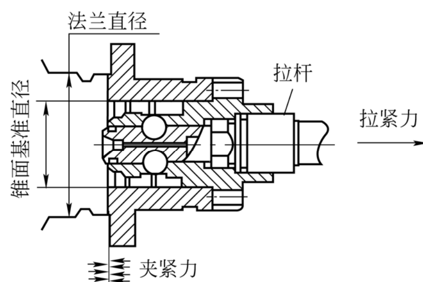


图 1-15　KM 工具系统

KM 系统采用三点接触和双钢珠锁定的方式连接，使 KM 系统具有刚度

高、精度高、装夹快捷和维护简单等优点。研究表明，与 BT 刀柄相比，HSK 刀柄和 KM 刀柄具有更好的静刚度和动刚度。KM 刀柄的拉紧力、锁紧力和动刚度值明显大于 HSK 刀柄，整体性能最佳。三者结构及性能比较（表略）可知，KM 刀柄也存在一些不足，如有较大过盈量，所需的夹紧力至少是 HSK 的 3 倍。

（3）Big-plus 工具系统　Big-plus 刀柄由日本大昭和精机公司（Big-Daishowa Seiki）研制，并且成功申请了专利进行技术保护，与 7:24 刀柄可兼容互换。Big-plus 工具系统结构利用主轴内孔的弹性膨胀锁紧后补偿间隙，缩小刀柄装入主轴后与端面的间隙，保证刀柄与主轴端面配合。工作时，刀柄装入主轴后，在主轴端面与刀柄法兰之间留有约 0.02mm 的间隙，当刀柄被拉紧后，主轴端口弹性扩张，实现锥面与端面的同时接触，避免因主轴的扩张造成刀柄的轴向移动。Big-plus 工具系统主轴和刀柄的制造精度非常高，保证系统的整体性能，被日本高速机床厂商普遍采用。

与 BT 锥柄相比，Big-plus 锥柄的弯矩承载能力因有一支撑直径而提高，增强了装夹稳定性。Big-plus 工具系统刚性高，有衰减振动功能，在高速切削时可减少刀柄跳动、提高重复换刀精度、延长刀具的寿命，在高速加工领域可获得较高的加工精度。

（4）Showa D-F-C 工具系统　Showa D-F-C 刀柄是由日本圣和精机株式会社开发的，其柄部为 7:24 锥度圆柱形，圆柱面上配有带外锥面的锥套，锥套大端与刀柄本体的法兰端面之间设有碟形弹簧，具有缓冲吸振和双面定位的作用。

刀柄采用锥套碟形弹簧的组合式结构，通过移动锥套，可以补偿锥部基准圆的微量轴向位置误差，能可靠地实现双向约束。当锥孔因离心力作用扩张时，在碟形弹簧的作用下，锥套产生轴向位移，补偿径向间隙，确保径向精度。碟形弹簧还能衰减切削时的微量振动，有利于提高刀具寿命、改善加工表面质量；该结构设计还解决了 HSK、KM、Big-plus 等双面定位型结构在刀柄和主轴锥孔磨损后，锥面定位性能下降的问题。但是刀柄上锥套孔因离心力发生扩张，使 Showa D-F-C 柄部圆柱体出现间隙，径向刚度和径向位置精度有所下降。

（5）Lock 工具系统　Lock 刀柄是日本株式会社日研工作所开发出的 7:24 锥度双面定位型结构。其柄部为圆柱体和圆锥体的组合，在该复合体上附带锥套，锥套大端与刀柄本体的法兰端面之间安置碟形弹簧，锥套小端通过细牙锁母定位和锁紧。

Lock 刀柄的最大特点是用端面、锥面和锥套内孔三处锁紧，与两面接触高速刀柄所不同的是，仅端面与锥面接触，三处锁紧保证高速旋转时系统可靠性。三

面定位避免因离心力导致锥套孔与柄部体产生间隙，提高系统径向刚度和径向位置精度。但是 Lock 刀柄锥套有开口缝，对动平衡精度有一定影响。

1.2　数控高速加工工艺

加工工艺是学习高速加工的重要内容，本节对数控高速加工的工艺特点、切削用量以及路径规划进行重点介绍。

1.2.1　高速加工的工艺特点

高速加工工艺的关键有下面三点：

① 保持切削载荷平稳。

② 最小的进给率损失。

③ 最大的程序处理速度。

其中，控制切削载荷最为重要，它是实现后两点的基础。一般来说，粗加工采用常规加工，因为它有较高的金属去除率；精加工采用高速加工，它能达到很高的走刀速度，并能切削更多的表面积（小零件粗加工到精加工都可采用高速加工）。但是在粗加工后的半成品工件上的残留毛坯，需要用半精加工去除那些不均匀的多余材料，留下一个余量比较均匀的半成品毛坯，为精加工采用高速加工创造条件。

对于一个高速加工任务来说，要把粗加工、半精加工和精加工作为一个整体来考虑，设计出合理的加工方案，从总体上达到高效率和高质量的要求，充分发挥高速加工的任务，这就是高速加工工艺规划的原则。高速加工要遵循以下原则：

① 在高速加工中，尽可能增加切削时间在整个工作时间的比例，减少非加工时间（如换刀、调整、空行程等）。

② 高速加工不仅仅是高的切削速度，应该把它看成一个过程，各个工序转接要流畅，需要对高速加工工艺规划进行非常细致的设计。

③ 高速加工不一定就是高的主轴转速，许多高速切削的应用是在中等主轴转速下用大尺寸刀具完成的。

④ 高速加工可以对淬硬材料进行加工，例如在精加工淬硬的钢材时，可采用比常规加工高 4～6 倍的切削速度和进给率。

⑤ 高速加工是一种高效加工，一般来说，对于小尺寸的工件，适合从粗加工到精加工；对于大尺寸的工件，适合精加工和超精加工。

1.2.1.1　高速加工刀具路径的特点

综合已有的一些实践经验和理论分析结果，高速加工刀具路径具有以下特点：

① 加工余量的清除一般宜用系列刀具分别进行粗加工、半精加工和精加工的

分段处理，不应用单一小刀具一次完成加工。

② 采用工序集中的原则和合理的工件装夹位置和方式，力求一次装夹定位完成工件的全部加工。

③ 高速铣削加工中，尽量采用顺铣加工。因为顺铣时刀具切入工件的切削厚度由最厚逐渐变化到最薄，切削刃受力状态好，产生热量比逆铣少，有利于延长刀具寿命。

④ 要保持金属去除率恒定，应该用高切速、小切削深度（切削深度不宜大于 0.2mm）进行加工，以保证切削载荷的恒定，获得较好的切削热转移和加工质量。

⑤ 要尽量不中断切削过程和刀具路径，减少刀具切入切出工件的次数，尽量避免刀具的急剧转向，在进退刀和从一个切削层进入到另一个切削层时，应采用螺旋、圆弧或斜线进出工件，以获得相对平稳的切削过程。

⑥ 加工凹凸角时，应采用圆弧速度补偿选项，调节刀具在拐角处的进给速度，但切削刃的切削速度仍保持恒定，以获得光滑的表面。

⑦ 在生成加工程序前，应对刀具路径进行优化，合并或取消那些零碎的、短的刀位轨迹，合理安排切削区域的加工顺序，减少进退刀次数和空刀移动的距离等，在保证加工精度要求的前提下，尽量减少程序段数。

⑧ 小的背吃刀量，一般来说不大于刀具直径的 10%，大量采用小层深的分层切削。

总之，相对于传统数控编程而言，高速加工要求刀具路径平稳、切削负荷稳定、空行程尽量短、切削效率高，且要求刀具路径必须有很高的安全性。

1.2.1.2 高速加工 CAM 软件的特点

CAM 是计算机辅助制造软件的统称，它与机床和刀具系统配合，可高速高效地加工出合适的零件。由于高速加工工艺要求与传统加工工艺要求不同，因此，用于高速加工的 CAM 数控自动编程系统也需要有其特殊的功能。为了使软件和设备能够协调“高速”，高速加工 CAM 软件必须具有以下功能：

（1）CAM 系统应该具有高计算量的编程速度　高速加工中采用极小的进给量和切削深度，单步量大，故数控程序比传统的程序要大得多。没有很高的运算处理能力，是无法配合机床运动以及数控系统的执行速度的。快的编程速度，使操作人员能够对多种加工策略进行比较，采取适当的工艺方法，对刀具轨迹进行编辑、调整和优化，以达到最佳的加工效率。

（2）CAM 系统应该具有全程自动防过切处理能力及自动刀具干涉检查　超过传统加工 10 倍以上切削速度的高速加工，如果发生过切，则后果不堪设想。所以，一个 CAM 系统必须具有全程自动防过切处理能力。传统的 CAM 系统只对

局部加工编程时，没有考虑整个工件的情况，这样极其容易发生过切现象。当过切发生时，只是靠人工的选择干预的方法来防止，很难保证全局防护的安全性。另外，高速加工的重要特征之一是能够使用较小直径的刀具来加工零件的细部结构，CAM 系统必须能够自动地提示最短刀具系统（含刀头、刀柄和刀夹）的长度，自动进行刀具干涉检查。

（3）CAM 系统应该具有进给率优化处理功能　为了既能够确保最大的切削效率，又要保证高速加工时的安全性，CAM 系统必须能够根据加工时余量的大小，自动调整进给率，保证加工刀具受力状态的平稳性。

（4）CAM 系统应该具有丰富的符合高速加工要求的加工策略　与传统加工方式相比，高速加工对工艺走刀方式有其特殊的机能要求，因而要求相配备的 CAM 系统能够满足这些要求。

1）应避免走刀时刀具轨迹的突然变化，保持加工过程中刀具轨迹的平稳和连续性，避免突然的加速或减速导致因局部过切而造成刀具和设备的损坏。

2）下刀或刀行间过渡部分采用斜式下刀或圆弧下刀，避免直上直下地下刀。

3）行切的端点采用圆弧连接，避免直线连接。

4）除非必须使用，应尽量避免全刀宽切削。

5）残余量加工或清根加工时，应采用多次加工或采用系列刀具从大到小分次加工，避免用小刀一次加工完成。

6）为了避免多余的空刀造成重复计算，对 CAM 系统的刀具轨迹编辑优化功能要求很高。通过这些功能对刀具轨迹进行镜像、复制、旋转等操作，还可以精确裁减空刀数量，以提高效率。此外，还可以对零件的局部变化进行编程和计算，无须每一次都对整个模型重新编程。

（5）CAM 系统应该具有崭新的编程方式　虽然采用高速加工设备后，对编程人员的需求量增加，但是 CAM 系统的使用将是越来越简单和方便化，应更贴近于车间加工操作人员，而不是更多地依靠技术工程师坐在设计中心的大楼里编写“理论”程序。随着 CAM 技术智能化水平提高，编程人员只需输入加工工艺就可以完成自动化的编程操作。程序编制的复杂程度与零件的复杂程度无关，只与加工工艺有关，故非常易于掌握和学习。

1.2.2　高速加工切削用量的选择

高速加工切削用量的选择主要考虑加工效率、加工表面质量、刀具磨损和加工成本。不同刀具加工不同工件材料时，切削用量会有很大差异。

1.2.2.1　切削用量选择的原则

切削用量主要包括切削速度、进给量和背吃刀量。高速铣削用量一般选择

高的切削速度 v_c、中等的每齿进给量 f_z、较小的背吃刀量 a_p、适当大的侧吃刀量 a_e。如典型整体硬质合金立铣刀（采用 TiCN 或 TiAlN 涂层）切削 48～58HRC 淬硬钢时，粗加工选择 v_c=100m/min，a_p=（6%～8%）D，a_e=（35%～40%）D，f_z=0.05～0.1mm/z；半精加工选择 v_c=150～200m/min，a_p=（3%～4%）D，a_e=（20%～40%）D，f_z=0.05～0.15mm/z；精加工选择 v_c=200～250m/min，a_p=0.1～1.2mm，a_e=0.1～0.2mm，f_z=0.02～0.2mm/z。

1．**刀具直径和有效直径**

高速铣削用量与刀具材料关系密切，不同刀具牌号所需的铣削用量不同。另外需要注意的是，由于球头铣刀实际参与切削部分的直径和加工方式有关，在选择铣削用量时，要考虑刀具直径 D 和有效直径 D_{eff} 的关系，如图 1-16 所示。

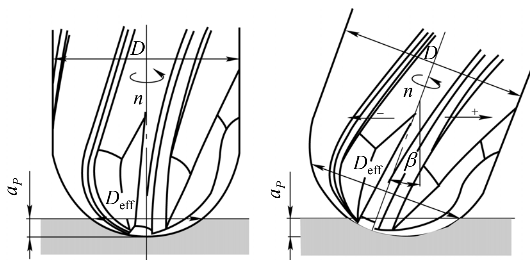


图 1-16　各种铣削方式下的铣刀直径

对于分层铣和面铣等，有效直径为

刀轴直立　$D_{eff}=2\sqrt{Da_p-a_p^2}$　　$\beta=0$

刀轴倾斜　$D_{eff}=D\sin\left[\beta\pm\arccos\left(\dfrac{D-2a_p}{D}\right)\right]$　　$\beta\neq 0$

铣刀实际参与切削部分的最大线速度定义为有效线速度，球头铣刀的有效线速度为

刀轴直立　$VD_{eff}=\dfrac{\pi n}{1000}\times 2\sqrt{Da_p-a_p^2}$　　$\beta=0$

刀轴倾斜　$VD_{eff}=\dfrac{\pi n}{1000}D\sin[\beta\pm\arccos(\dfrac{D-2a_p}{D})]$　　$\beta\neq 0$

采用球头铣刀加工时，如果背吃刀量小于刀具半径，则有效直径将小于铣刀名义直径，有效速度也将小于名义速度；当采用圆弧铣刀浅切削深度时，也会出现上述情况。在优化加工参数时，应该按有效铣削速度选择。

2．**选择侧吃刀量**

在应用球头铣刀进行精加工曲面时，为了获得较好的表面粗糙度，减少或省去手工抛光，侧吃刀量最好和每齿进给量相等，这样加工出的表面纹理比较均匀，

而且表面质量很高，如图 1-17 所示。

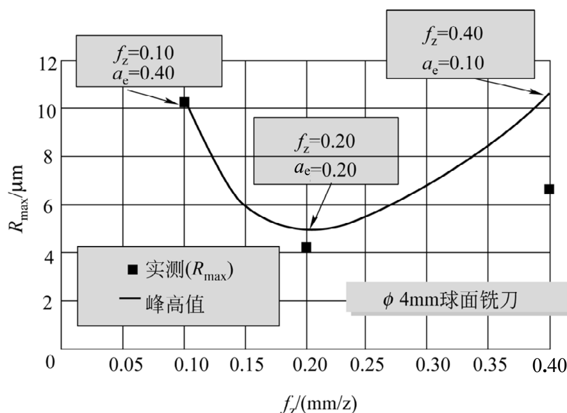


图 1-17　侧吃刀量与每齿进给量对表面粗糙度的影响

3．选择背吃刀量

背吃刀量是制定合理的高速切削用量的重要参数，它由刀具长度、刀具的长径比以及工件材料的硬度等因素确定。对较硬材料的铣削，背吃刀量 a_p 可由下式计算（R 为刀具圆角半径，C_1 为材料的硬度系数，C_2 为刀具的长径比系数）：

$$a_p = RC_1C_2$$

其中，C_1 为材料的硬度系数，C_2 为刀具的长径比系数，如图 1-18 和 1-19 所示。可见当材料硬度和刀具的长径比达到一定程度（材料硬度 50HRC，长径比>5）时，材料硬度系数和刀具长径比系数急剧下降，允许的背吃刀量也随之急剧下降，这种情况要尽量避免。

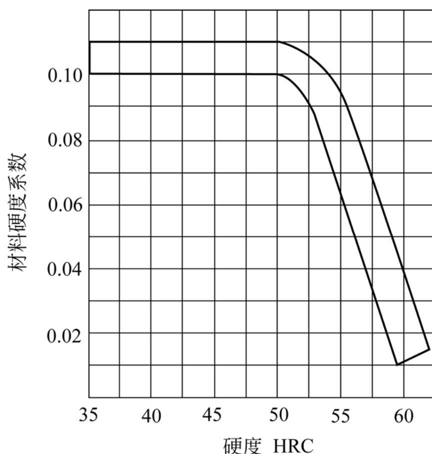


图 1-18　材料的硬度系数

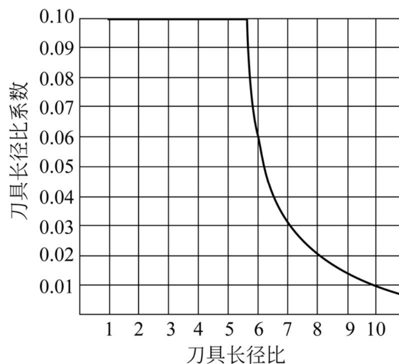


图 1-19　刀具的长径比系数

1.2.2.2 常用材料的切削用量

1．钢的高速铣削用量

当铣削材料为淬硬工具钢时，硬度为 48～52HRC，常用的高速铣削用量如表 1-5 和表 1-6 所示。

表 1-5 钢的高速铣削用量

刀具直径 D/mm	铣削速度 v_c/（m/min）	每齿进给量 f_z/（mm/z）	背吃刀量 a_p/mm	侧吃刀量 a_e/mm	主轴转速 n/（r/min）	进给速度 v_f/（mm/min）
2	113	0.07	0.05	0.10	60000	8400
3	151	0.08	0.05	0.20	60000	9600
4	210	0.08	0.10	0.25	55710	8915
5	210	0.10	0.10	0.30	47750	9550
6	210	0.11	0.10	0.35	44560	9805
8	210	0.13	0.15	0.45	30390	7900
10	210	0.17	0.15	0.60	27850	9470
12	210	0.20	0.20	0.70	21560	8625
16	210	0.25	0.25	0.95	16710	8355
20	210	0.28	0.30	1.15	13640	7640

表 1-6 钢的高速铣削用量

刀具直径 D/mm	铣削速度 v_c/（m/min）	每齿进给量 f_z/（mm/z）	背吃刀量 a_p/mm	侧吃刀量 a_e/mm	主轴转速 n/（r/min）	进给速度 v_f/（mm/min）
2	132	0.04	0.06	0.04	60000	4800
3	188	0.05	0.08	0.05	60000	6000
4	226	0.05	0.10	0.05	60000	6000
5	283	0.05	0.12	0.05	60000	6000
6	339	0.06	0.14	0.06	60000	7200
8	380	0.07	0.16	0.07	54000	7560
10	380	0.08	0.18	0.08	45460	7278
12	380	0.09	0.20	0.09	39370	7087
16	380	0.10	0.25	0.10	30480	6096
20	380	0.10	0.30	0.10	24880	4976

2．高硬材料的高速铣削用量

当铣削材料为淬硬工具钢、弹簧钢时，硬度为 52～56HRC，常用的高速铣削用量如表 1-7 和表 1-8 所示。

表 1-7　高硬材料的高速铣削用量

刀具直径 D/mm	铣削速度 v_c/（m/min）	每齿进给量 f_z/（mm/z）	背吃刀量 a_p/mm	侧吃刀量 a_e/mm	主轴转速 n/（r/min）	进给速度 v_f/（mm/min）
2	113	0.07	0.05	0.10	60000	8400
3	151	0.08	0.05	0.20	60000	9600
4	180	0.08	0.10	0.25	47750	7640
5	180	0.10	0.10	0.30	40930	8185
6	180	0.11	0.10	0.35	38200	8405
8	180	0.13	0.15	0.45	26040	6770
10	180	0.17	0.15	0.60	23870	8115
12	180	0.20	0.20	0.70	18480	7390
16	180	0.25	0.25	0.95	14320	7160
20	180	0.28	0.30	1.15	11690	6545

表 1-8　高硬材料的高速铣削用量

刀具直径 D/mm	铣削速度 v_c/（m/min）	每齿进给量 f_z/（mm/z）	背吃刀量 a_p/mm	侧吃刀量 a_e/mm	主轴转速 n/（r/min）	进给速度 v_f/（mm/min）
2	132	0.04	0.06	0.04	60000	4800
3	188	0.05	0.08	0.05	60000	6000
4	226	0.05	0.10	0.05	60000	6000
5	283	0.05	0.12	0.05	60000	6000
6	300	0.06	0.14	0.06	52720	6326
8	300	0.07	0.16	0.07	42630	5968
10	300	0.08	0.18	0.08	35910	5746
12	300	0.09	0.20	0.09	31080	5594
16	300	0.10	0.25	0.10	2460	4812
20	300	0.10	0.30	0.10	19640	3928

3．轻合金的高速铣削用量

当铣削材料为铝合金时，常用的高速铣削用量如表 1-9 和表 1-10 所示。

表 1-9　铝的高速铣削用量

刀具直径 D/mm	铣削速度 v_c/（m/min）	每齿进给量 f_z/（mm/z）	背吃刀量 a_p/mm	侧吃刀量 a_e/mm	主轴转速 n/（r/min）	进给速度 v_f/（mm/min）
3	450	0.10	0.75	1.50	60000	12000
4	600	0.12	1.0	2.00	6000	14400
5	750	0.15	1.25	2.50	60000	18000
6	900	0.18	1.50	3.00	60000	21600
8	1200	0.20	2.00	4.00	47750	19100
10	1200	0.22	2.5	5.00	38200	16810
12	1200	0.25	3.00	6.00	31830	15915
16	1200	0.28	4.00	8.00	23780	13365
20	1200	0.30	5.00	10.0	19100	11460

表 1-10 铝的高速铣削用量

刀具直径 D/mm	铣削速度 v_c/（m/min）	每齿进给量 f_z/（mm/z）	背吃刀量 a_p/mm	侧吃刀量 a_e/mm	主轴转速 n/（r/min）	进给速度 v_f/（mm/min）
2	132	0.04	0.06	0.04	60000	4800
3	188	0.05	0.08	0.05	60000	6000
4	226	0.05	0.10	0.05	60000	6000
5	339	0.06	0.14	0.06	60000	6000
6	339	0.06	0.14	0.06	60000	7200
8	415	0.07	0.16	0.07	60000	8400
10	509	0.08	0.18	0.08	60000	9600
12	584	0.09	0.20	0.09	60000	10800
16	754	0.10	0.25	0.10	60000	12000
20	924	0.10	0.30	0.10	60000	12000

4．不锈钢、钛合金的高速铣削用量

当铣削材料为不锈钢、钛合金时，常用的高速铣削用量如表 1-11 所示。

表 1-11 不锈钢、钛合金的高速铣削用量

刀具直径 D/mm	铣削速度 v_c/（m/min）	每齿进给量 f_z/（mm/z）	背吃刀量 a_p/mm	侧吃刀量 a_e/mm	主轴转速 n/（r/min）	进给速度 v_f/（mm/min）
2	132	0.04	0.06	0.04	60000	4800
3	188	0.05	0.08	0.05	60000	6000
4	226	0.05	0.10	0.05	60000	6000
5	240	0.05	0.12	0.05	49920	4992
6	240	0.06	0.14	0.06	42170	5060
8	240	0.07	0.16	0.07	34110	4775
10	240	0.08	0.18	0.08	28730	4597
12	240	0.09	0.20	0.09	24860	4475
16	240	0.10	0.25	0.10	19250	3850
20	240	0.10	0.30	0.10	15710	3142

1.2.3 高速加工路径规划

根据高速加工的工艺特点，在做高速加工编程时，要进行必要的刀具路径规划，包括进退刀模式、走刀模式、移刀模式和刀具路径的拐角模式等。下面逐一介绍。

1.2.3.1 高速加工进退刀模式

传统数控加工进退刀为直上直下的方式，这种方式的优点是比较直接，不需要太多的计算；缺点是刀具直接向工件垂直切入加工，会产生较大的冲击力，对刀具提出了很高的要求，并且这种进刀方式也不容易排屑，产生大量的热不容易散发，刀具和工件的变形加大，如图 1-20 所示。

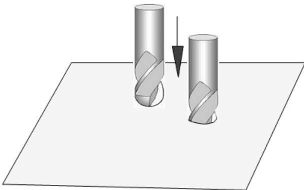


图 1-20 直上直下的方式进退刀

斜向进退刀时，由于采用侧刃切削工件，加工时需要设置两个角度：X-Y 平面角度，从垂直方向看时，刀具轨迹与 X 轴的夹角通常为零；与工件的夹角，即刀具切入加工面的角度，如图 1-21 所示，这个角度设置时，如果选取得太小，则刀具每次切入深度较浅，有利于保护刀具和工件，但是，这也造成切入斜线增长，加工路线加长。

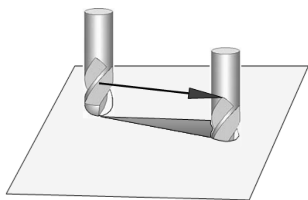


图 1-21　斜向进退刀

高速加工中，为了使刀具在工件表面上平稳起降，通常尽量采用轮廓的切向进退刀方式，如图 1-22 所示。在对曲面进行加工时，刀具可以是 Z 向垂直进退刀、曲面法向进退刀、曲面正向与反向切向进退刀和斜向或螺旋进退刀。根据实际加工效果，曲面的切向进退刀和螺旋进退刀更适合高速加工。

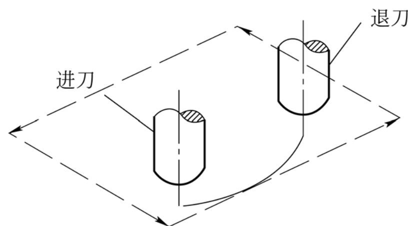


图 1-22　切向进退刀

1.2.3.2　高速加工走刀模式

高速加工走刀应避免刀具轨迹中走刀方向的突然变化，以免因局部过切而造成刀具或设备的损坏；走刀速度要平稳，避免突然加速或减速，避免多余空刀，应采用光滑的转弯走刀。高速加工走刀模式如下：

（1）平行铣削　最常用的走刀方式，采用平行扫描线的形式对多张曲面构成的模型进行加工，如汽车覆盖件模具加工。

（2）环形铣削　同时对多个曲面进行加工的计算方法，其走刀路线是以外轮廓的形状由外向内进行走刀。

（3）摆线走刀　摆线走刀是高速加工典型的刀位轨迹策略，摆线相当于一个圆沿着一条曲线作纯滚动时，圆上某一固定点的轨迹。采用这种刀具轨迹是刀具在切削时距某条曲线保持一个恒定的半径，从而可使进给速度在加工过程中保持不变，刀具寿命较长，如图 1-23 所示。

（4）等高线层切法　将零件分成若干层，一层一层逐层往下切，在每层中将零件所有区域加工完后再进行下一层。每一层均采用螺旋或圆弧进刀，同时采用无尖角刀具轨迹，这样有利于排屑，也避免了切削力发生突变，如图 1-24 所示。特别是对薄壁零件来说，更应采用这种刀具轨迹，因为这种刀具轨迹在切削过程中能保持薄壁较高的刚性。

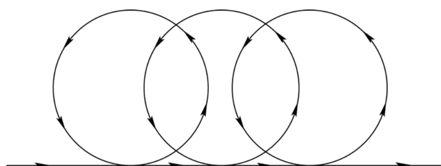


图 1-23　摆线示意图

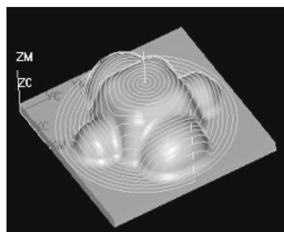


图 1-24　等高线层切方式

1.2.3.3　高速加工移刀模式

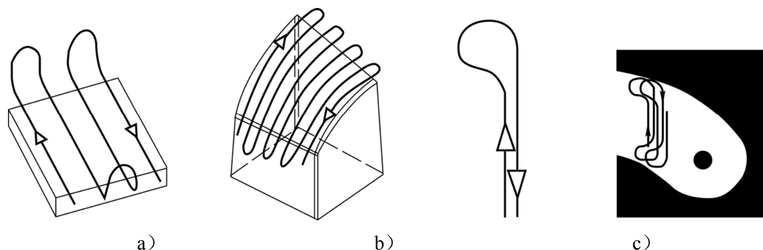
移刀方式主要是指高速加工行切时的行间移刀、环切中的环间移刀、等高加工的层间移刀等。普通数控的移刀模式不适合高速加工的要求，如行切移刀时，刀具多是直接垂直于原来行切方向的法向移刀，致使刀具路径中存在尖角；在环切的情况下，环间移刀也是从原来轨迹的法向直接移刀，也致使刀具路径轨迹存在不平滑的情况；在等高加工中的层间移刀时，也存在移刀尖角。这些都导致高速机床频繁地加减速，影响了加工效率，阻碍了高速加工的发挥。

1．**行切移刀**

对于大平面或相对平坦轮廓的切削，行切方式较为高效、便捷，主要有以下几种：

（1）采用切圆弧连接　在行切削量较大的情况下，处理得很好；在行切量（行间距小于 0.2mm）较小的情况下，由于圆弧半径过小，导致圆弧接近一点，即近似为行间的直接直线移刀，从而导致机床频繁地加减速，影响加工效率，对机床不利。

（2）采用内侧或外侧圆弧过渡移刀　在使用小直径刀具进行精加工时，由于刀路轨迹间距非常小，使用切圆弧移刀效果不理想，可采用内侧或外侧圆弧移刀，如图 1-25 所示。



a）　　b）　　c）

图 1-25　行切移刀方式

a）空间内向圆弧走刀　b）空间外向圆弧走刀　c）高尔夫球杆头式抬刀过渡走刀

（3）高尔夫球杆头式移刀　由于该种移刀方式的轨迹像高尔夫球杆头，故称为高尔夫球杆头式移刀，它克服了切圆弧半径过小而导致圆弧接近一点。

2．**环切移刀**

采用环间圆弧连接时，移刀轨迹直接在两个刀具路径轨迹之间生成圆弧，在

间距较大的情况下，会产生过切。因此，该方法一般多用于两轴半加工，所有的加工都在一个平面内，如图 1-26 所示。

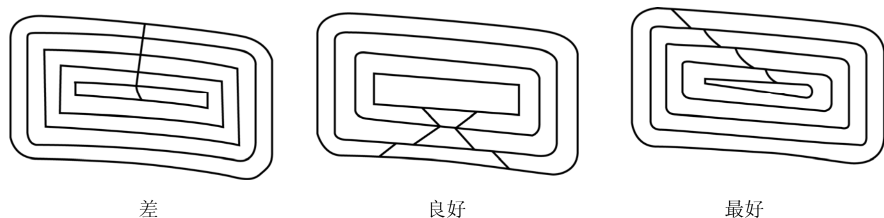


图 1-26　环切移刀

3．**层间移刀**

在进行等高加工时，可采用螺旋式等高线间的移刀。

1.2.3.4　高速加工拐角模式

部分工件的外形轮廓为直角，刀具轨迹只能沿着轮廓直角进给，会导致速度变化很大。进给速度的急剧变化，会造成刀具磨损、刀具高速运动到转角处发生前冲超过工件而过切等。

在工件外形轮廓转角处采用圆滑过渡的方式，如图 1-27 所示。在工件内部圆角如果采用等半径的刀具直接加工，进给方向发生突变，势必会使机床负荷猛然增加。加工这种类型的圆角最好使用较小半径的刀具，一般情况下刀具半径最好较圆角几何尺寸小 70%或更小，这样可使拐角处的切削刀具进给方向变化平滑，避免刀具的突然转向。使用小直径刀具加工和直接切入拐角相比，机床负荷可以降低约原来的 1/3。

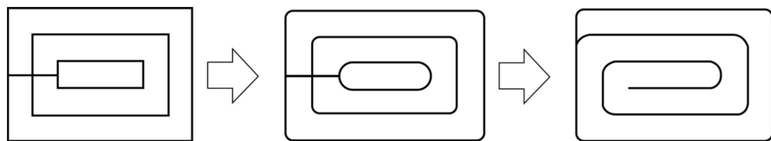


图 1-27　工件外形走圆角

1.3　本章小结

本章对数控高速加工的基础专业知识进行了简要介绍，包括加工机床、加工刀具以及加工工艺等内容。其中，加工工具的选择、加工切削用量的选择是重点。另外，高速加工路径规划包括进退刀模式、走刀模式、移刀模式和刀具路径的拐角模式等，建议读者学习时前后比较。了解和熟悉这些加工模式设置，对后面加工实例的学习有良好的辅助作用。

第 2 章　UG NX 7.0 平面铣高速加工

平面铣高速加工是一种 2.5 轴的加工方式，它在加工过程中产生水平方向 XY 的 2 轴联动（Z 轴方向只在完成一层加工后进入下一层才进行单独的动作），能够创建 2 轴、2.5 轴和 3 轴的数控加工操作。本章对 UG 平面铣的高速加工操作与参数设置做一详细介绍。

2.1　平面铣加工的特点

平面铣适合加工整个形状由平面和与平面垂直的面构成的零件。一般情况下，对于直壁的、水平底面为平面的零件，应该优先选择平面铣方式进行粗加工和精加工。归纳起来，平面铣加工的特点有：

① 平面铣在与 XY 平面平行的切削层上创建刀具的切削轨迹，其刀轴固定，垂直于 XY 平面，零件侧面平行于刀轴矢量。

② 平面铣并不采用几何实体来确定加工区域，而是使用边界或曲线来创建切削区域。因此，平面铣无需做出完整的造型，可依据 2D 图形直接进行刀轨的生成。

③ 平面铣刀轨生成速度快、调整方便，能很好地控制刀具在边界上的位置。

④ 平面铣可完成粗加工，同时也可进行精加工。

2.2　平面铣加工边界

在平面铣中加工边界，即是铣削需要创建的几何体。下面对边界的类型和创建方法分别进行介绍。

2.2.1　铣削边界的类型

在平面铣操作中，加工区域由边界和底面来限定。边界用于计算刀位轨迹，定义刀具的切削范围；底面用于控制刀具的背吃刀量。常用的平面铣加工几何体包括部件边界、毛坯边界、检查边界、修剪边界和底面五种，如图 2-1 所示，下面逐一进行介绍。

（1）部件边界　部件边界用于描述完整的零件，它控制刀具运动的范围，可以通过选择面、曲线、点和永久边界来定义部件边界，如图 2-2 所示。当选择点来定义时，将以点的选择顺序用直线连接起来，定义切削的范围，边界可以是开放的也可以是封闭的；当选择面时，其边界是封闭的，其材料侧位内部保留或外部保留。开放边界的材料侧为左侧或右侧，封闭边界的材料侧为内部保留和外部保留。



图 2-1　平面铣加工几何体类型

（2）毛坯边界　毛坯边界是用于表示被加工零件毛坯的几何对象，它是系统计算刀轨的重要依据，如图 2-3 所示。毛坯边界没有敞开的，只有封闭的边界。当部件边界和毛坯边界都定义了，系统根据毛坯边界和部件边界共同定义的区域（两种边界相交的区域）定义刀具运动的范围。

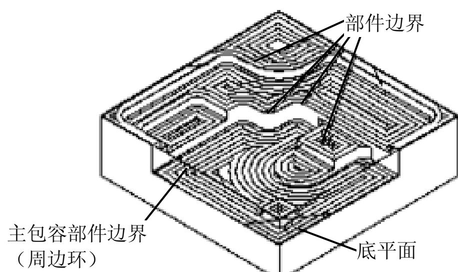


图 2-2　部件边界

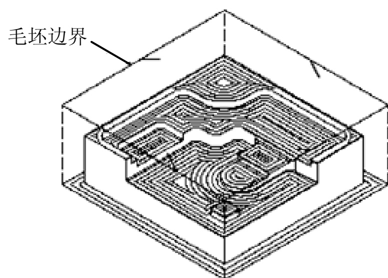


图 2-3　毛坯边界

（3）检查边界　检查边界是用于指定不允许刀具切削的部位，如图 2-4 所示。检查边界没有敞开的边界，只有封闭的边界，用户可以设置“检查余量”来定义刀具离开边界的距离。

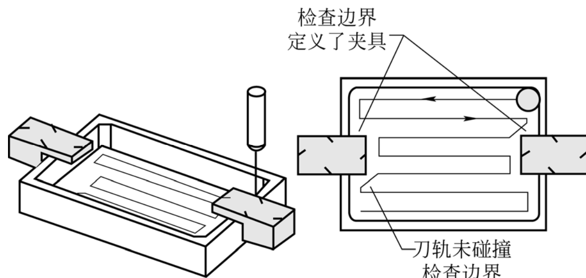


图 2-4　检查边界

（4）修剪边界　如果操作的整个刀轨涉及的切削范围的某一区域不希望被切削，可以利用修剪边界将这部分刀轨去除。修剪边界通过指定刀具路径在修剪区

域的内或外来限制整个切削范围，如图 2-5 所示。

（5）底面　底面是一个垂直于刀具轴的平面，用于指定平面铣的最低高度。定义底平面后，其余切削平面平行于底面而产生，如图 2-6 所示。每个操作中仅能定义一个底面，第二个选择平面会自动替代第一个选取的面作为底面。底面可以直接在工件上选取水平的表面作为底面，也可将选取的表面偏置一定距离后作为底面，或者利用“平面构造器”对话框创建一个平面作为底面。

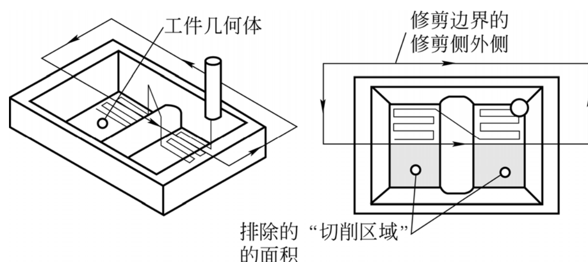


图 2-5　修剪边界示意图

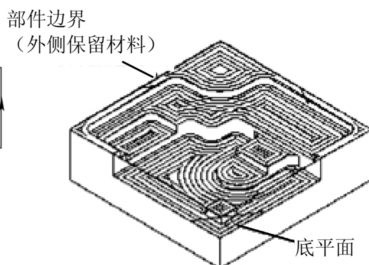


图 2-6　底面示意图



提示

如果用户没有选择底面，系统用加工坐标系 XM-YM 平面作为底面。

2.2.2　铣削边界的创建

如果不使用操作导航器工具的几何节点数据，而要在平面铣操作对话框中为操作个别定义部件边界、毛坯边界、检查边界、修剪边界，应当在“平面铣”操作对话框中选择相应的几何节点来定义边界。在 UG NX 7.0 中，加工区域可以通过单个边界或多个边界来定义，边界可分为永久边界和临时边界两种。下面分别加以介绍。

1. 永久边界

在 UG NX 7.0 中，可以创建永久边界指定加工区域。永久边界是用户在几何对象上单独创建的边界，或者是转化临时边界所得到的边界，如图 2-7 所示。对于在加工操作中需要重复使用的边界，尤其在边界形状比较复杂时，应创建永久边界。永久边界一经创建，即可在不同的操作中重复使用，但不能对已经创建的永久边界进行修改，只能删除或是重新创建。

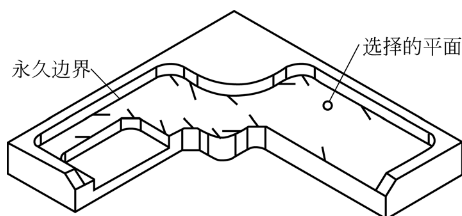


图 2-7　永久边界示意图

永久边界创建后，与原来的几何对象不再关联，创建后不能再编辑。在创

建加工操作时，如果选择一个永久边界作为加工边界，那么该永久边界就相当于被复制一份作为临时边界，此时可进行编辑。

选择菜单“工具”→“边界”命令，弹出“边界管理器”对话框，如图 2-8 所示。在该对话框中，用户可进行“创建”、“删除”、“隐藏”、“显示”和“列表”操作设置。

单击“创建”按钮，弹出“创建边界”对话框，如图 2-9 所示。



图 2-8 “边界管理器”对话框

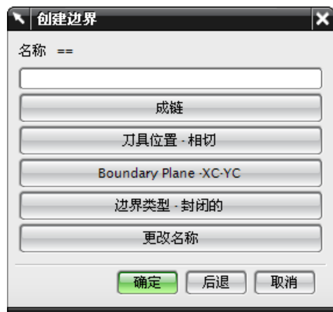


图 2-9 “创建边界”对话框

在“创建边界”对话框中，相关选项参数的含义如下：

（1）成链　用来快速选择多条曲线的方法。单击该按钮，在选择一条曲线后，选择另外一条曲线，则两条曲线之间的所有曲线全部选择。

（2）刀具位置　刀具位置用于指定刀具接近边界时的位置，包括“相切”和“开（对中）”两个选项。

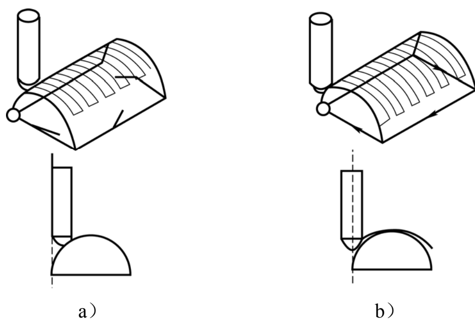


图 2-10　刀具位置示意图

a）相切　b）开（对中）

1）【相切】：刀具的侧面与边界对齐，在创建的边界上显示半边箭头，如图 2-10a 所示。

2）【开（对中）】：刀尖沿刀轴方向与边界对齐，在创建的边界上显示完整箭头，如图 2-10b 所示。

（3）Boundary Plane-XC-YC（边界平面）　单击该按钮，弹出“平面”对话框，通过该对话框来定义平面。此时选定的几何体将沿边界平面的矢量法向投影到该边界平面上，且将在该平面上创建边界，如图 2-11 所示。

（4）边界类型　“边界类型”用于指定要创建的边界为“开放的”或“封闭的”。封闭边界定义一个区域，而开放边界定义的是一个轨迹，如图 2-12 所示。

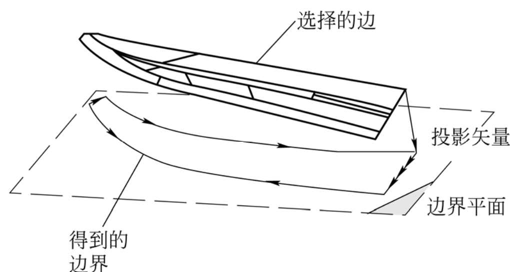


图 2-11　利用边界平面创建边界

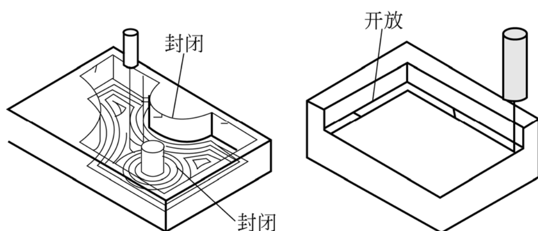


图 2-12　开放边界和封闭边界示意图

（5）更改名称　用于改变当前要创建的边界名称，可以输入最多由 20 个字母、数字、字符组成的名称。如果不输入名称，则系统会指定默认名称（B1、B2 等）。

2. 曲线/边模式

曲线/边模式通过选择已经存在的曲线或曲面边缘来创建边界。单击“平面铣”对话框“几何体”组框中“指定部件边界”选项后的“选择或编辑部件边界”按钮，弹出“边界几何体”对话框，在“类型”下拉列表中选择“曲线/边”选项，弹出“创建边界”对话框，如图 2-13 所示。



图 2-13　“创建边界”对话框

“创建边界”对话框中的选项参数含义与“永久边界”中的参数基本相同。需要注意的是：对于不同类型的边界，其内外侧的定义不同，如作为部件边界使用时，其材料侧为保留部分；作为毛坯边界时使用时，其材料侧为切除部分；作为检查边界，其材料侧为保留部分。保留部分将不产生刀轨，而相对的切削侧则是刀具轨迹切削的部位。

3. 面模式

选择模型的平面，以平面的所有边界曲线作为部件边界，该模式是系统默认

的边界选择模式。单击“平面铣”对话框“几何体”组框中“指定部件边界”选项后的“选择或编辑部件边界”按钮，弹出“边界几何体”对话框，在“模式”下拉列表中选择“面”选项，如图 2-14 所示。



图 2-14 “边界几何体”对话框

4．**点模式**

点模式通过顺序选择定义点，以直线连接定义点来定义边界。单击“平面铣”对话框“几何体”组框中“指定部件边界”选项后的“选择或编辑部件边界”按钮，弹出“边界几何体”对话框，在“模式”下拉列表中选择“点”选项，如图 2-15 所示。

选取图 2-16 所示的序列（1、2、3、…、7），确定起点和边界方向，则创建铣削边界。



图 2-15 “创建边界”对话框

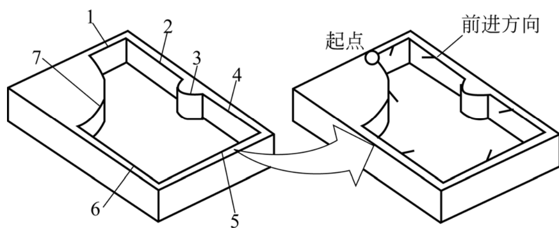


图 2-16　由点创建边界

2.3　平面铣加工参数与操作

要使平面铣加工操作适合高速加工的特点，通常需要修改相应的操作参数，主要包括：

1）设置螺旋进退刀方式。

2）设置更小的切削步长。

3）设置圆角拐角。

4）设置拐角减速。

5）设置主轴转速和进给速度。

下面对平面铣加工参数与操作说明分别介绍。

2.3.1 切削模式

“刀轨设置”组框中的“切削模式”选项，用于决定加工切削区域的刀具路径的模式与走刀方式。下面介绍平面铣中常用的切削方式。

1．**往复式走刀**（Zig-Zag）

往复式走刀用于产生一系列平行连续的线性往复刀轨，是最经济省时的切削方法，但该方式会产生一系列的交替“顺铣”和“逆铣”，特别适合于粗铣加工。

如果没有指定切削区域起点，那么第一个单向刀路将尽可能地从周边边界的起点处开始切削。系统将保持线性往复切削，但允许刀具在限定的步距内跟随切削区域轮廓，以保持连续的切削运动。如图 2-17 所示，最后一条往复刀路偏离了直线方向，而跟随切削区域的形状以保持连续的切削刀轨。只要刀路不相交，系统便可允许刀轨沿往复刀路跟随切削区域轮廓。

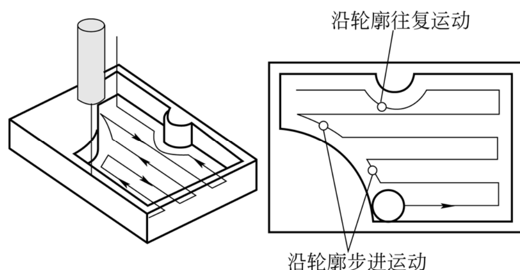


图 2-17　往复走刀沿轮廓往复运动

往复刀路只能从直线刀轨中偏离小于步距值的距离，如果刀路不相交，往复刀路便无法跟随切削区域轮廓，那么系统将生成一系列较短的刀路，并在子区域间移刀进行切削，如图 2-18 所示。

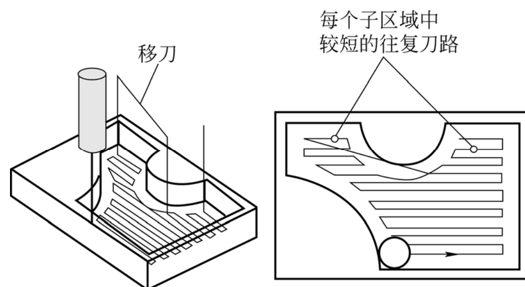


图 2-18　往复走刀子区域往复刀路

2．单向走刀（Zig）

单向走刀用于产生一系列单向的平行线性刀轨，相邻两个刀具路径之间都是顺铣或逆铣，如图 2-19 所示。

与往复式走刀类似，单向生成的刀路将跟随切削区域的轮廓，但前提是刀路不相交。如果单向刀路不相交，便无法跟随切削区域，那么系统将生成一系列较短的刀路，并在子区域间移刀进行切削。

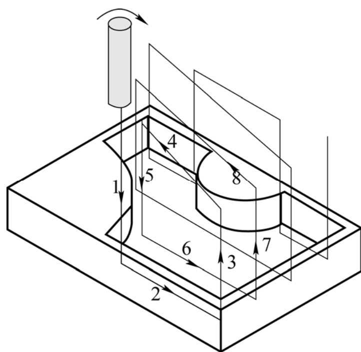


图 2-19　单向走刀示意图

3．单向轮廓铣

单向轮廓铣用于产生一系列单向的平行线性刀轨。在横向进给时，刀具直接沿切削区域轮廓切削。单向轮廓能够始终严格保持单纯的顺铣或逆铣，如图 2-20 所示。

单向刀路也跟随切削区域的轮廓，前提是轮廓不会导致刀路相交。如果存在相交刀路，使得单向刀路无法跟随切削区域的轮廓，那么系统将生成一系列较短的刀路，并在子区域间移刀进行切削，如图 2-21 所示。

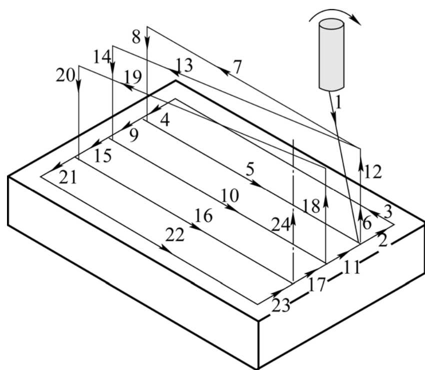


图 2-20　单向沿轮廓铣示意图

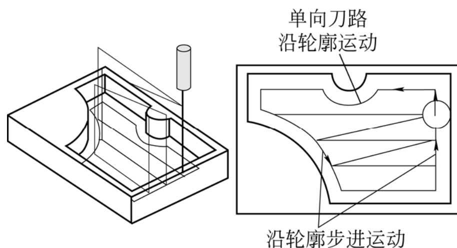


图 2-21　单向轮廓沿轮廓运动

4．跟随周边

跟随周边用于产生一系列同心封闭的环形刀轨，这些刀轨的形状是通过偏移切削区的外轮廓获得的。可加工区域内的所有刀路都封闭，如图 2-22 所示。

跟随周边刀轨不会互相交叉，在某个区域比另一个区域需要更多的腔体加工刀路的情况下，刀具会在子区域之间移刀以完成较大的区域，如图 2-23 所示。如果需要多次移刀，则可以使用区域连接来优化刀具运动。

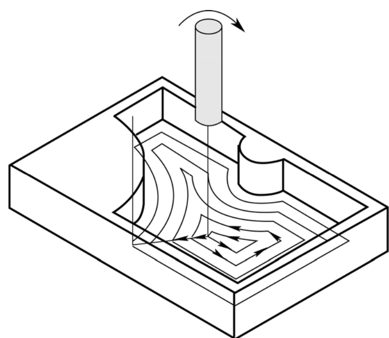


图 2-22　跟随周边示意图

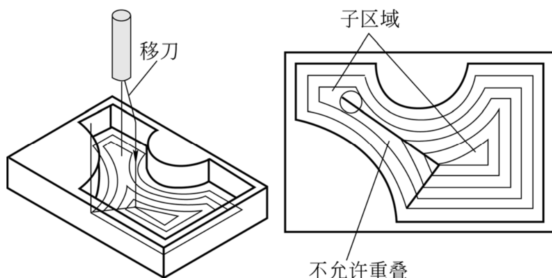


图 2-23　子区域之间移刀

使用“图样方向”可指定由外朝内，还是由内朝外。使用“向内”腔体方向时，离切削模式中心最近的刀具一侧将确定“顺铣”或“逆铣”，如图 2-24a；使用“向外”腔体方向时，离切削区域边缘最近的刀具一侧将确定“顺铣”或“逆铣”，如图 2-24b 所示。

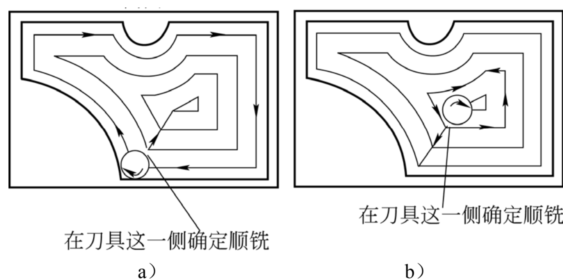


图 2-24　跟随周边的顺铣和逆铣
a）向内　b）向外


提示

由于跟随周边的刀轨不能仿形岛屿，为了保证岛屿侧面的加工质量，可以附加绕岛屿的刀轨，因此需要选择切削参数中的“岛清理”选项，用于在岛屿部增加附加绕岛屿的刀轨。

5．跟随部件

跟随部件用于根据所指定的零件几何产生一系列同心线，以创建切削刀具路径。可加工区域内的所有刀具路径都将是封闭形状，如图 2-25 所示。

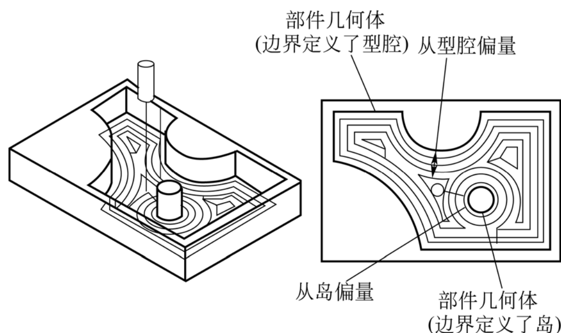


图 2-25　跟随部件示意图

在带有岛的型腔区域中使用“跟随部件”，从而不需要使用带有“岛清理”的“跟随周边”方式。“跟随部件”将保证在不设置任何切换的情况下，完整切削整个部件几何体，如图 2-26 所示。

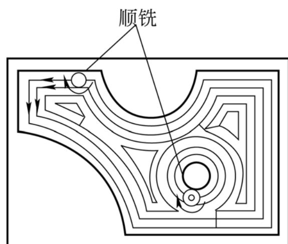
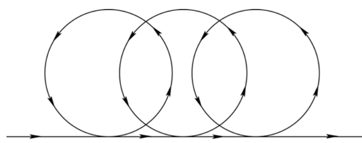


图 2-26　保持顺铣示意图

6．摆线

摆线用于将刀具沿着摆线轨迹运动，如图 2-27 所示。当需要限制刀具因过大的横向进给而产生破坏，且需要避免过量切削材料时，可采用摆线方式。在进刀过程中的岛和部件之间、形成锐角的内拐角以及窄区域中，几乎总是会得到内嵌区域。摆线切削可消除这些区域。刀具以小的回环切削模式来加工材料，也就是说，刀具在以回环切削模式移动的同时，也在旋转。


图 2-27　摆线示意图

向外摆线切削通常从远离部件壁处开始，向部件壁方向行进，常用的选项参数含义如下：

1）【摆线宽度】：在刀轨中心线处测量的摆线圆的直径。该值最好不超过刀具直径，系统默认为刀具直径的 60%。

2）【最小摆线宽度】：用于指定摆线圆的最小直径。最大值小于摆线宽度，系统默认为刀具直径的 20%。

3）【步距限制%】：用于输入实际步距可超过指定步距的最大数量。最小值为 100%，最大值为 200%，系统默认为 150%。

4）【摆线向前步长】：摆线圆沿刀轨相互间隔的距离值。最大值要小于步距，默认为刀具直径的 40%。

对于硬铣削，步距大约为 10%。推荐的摆线设置为：步距限制=指定步距的 150%；摆线向前步长=刀轨步距的 80%～100%；摆线宽度=步距的 1.5 倍。

对于简单槽，推荐值为：步距限制=指定步距的150%；摆线向前步长=刀轨步距；摆线宽度=槽加工区域的宽度、刀轨步距。

7．配置文件

配置文件方式即轮廓切削，它产生单一或指定数量的绕切削区轮廓的刀轨，目的是实现侧面的精加工，如图 2-28 所示。

可以通过在“附加刀路”选项指定一个值来创建附加刀具路径，以允许刀具向部件几何体移动，并以连续的同心切削方式移除壁面上的材料，如图 2-29 所示。

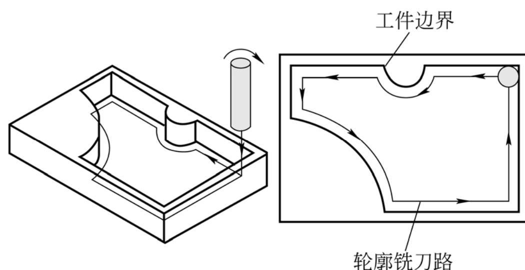


图 2-28　轮廓示意图

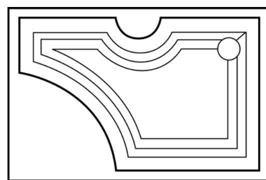


图 2-29　附加刀路



提示

高速加工优先使用环绕进给方式，可以保持顺铣切削，并且产生全刀切削的距离最短，因而属于优先选择的进给方式，如“跟随部件”。

2.3.2　切削步长

切削步长是指相邻两道切削路径之间的横向距离，它是关系到刀具切削负荷、加工效率和零件表面质量的重要参数。常用步进方式有“恒定”、“残余高度”、“刀具直径”和“可变”四种，下面分别介绍。

1）【恒定】：指定相邻两刀切削路径之间的横向距离为常量。如果指定的距离不能将切削区域均匀分开，系统会自动缩小指定的距离值，并保持恒定不变，如图 2-30 所示。

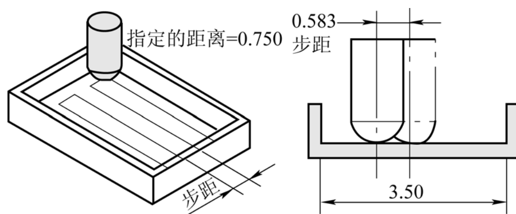


图 2-30　恒定步长示意图

2）【残余高度】：指定相邻两刀切削路径刀痕间残余面积高度值，以便系统自动计算横向距离值，系统应保证残余材料高度不超过指定的值，如图 2-31 所示。

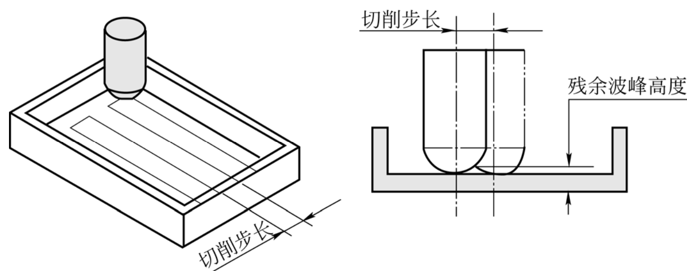


图 2-31　残余高度示意图

3）【刀具直径】：用刀具直径乘“百分比”的积作为切削步距值。如果加工

长度不能被切削步长等分，则系统将减少切削步长，并保持一个常数。对于球头铣刀，系统将其整个直径用作有效刀具直径。对于其他刀具，“有效刀具直径”按 D-2CR 计算，如图 2-32 所示。

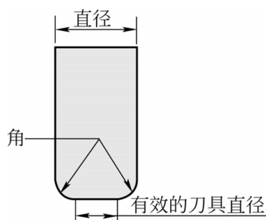


图 2-32　有效刀具直径

4）【可变】：指定相邻两刀具路径的最大和最小横向距离值，系统自动确定实际使用的步长。不同的切削模式可变的选项不同，下面分别加以介绍：

①〖往复、单向和单向轮廓〗：在“往复、单向和单向轮廓”创建步距，可输入“最大值”和“最小值”，系统将使用该值来确定步距大小和最少步距数量。这些步距可将平行于单向和回转刀路的壁面间的距离均匀分割，同时系统还将调整步距，以保证刀具始终沿着壁面进行切削而不会剩下多余的材料，如同 2-33 所示。用户指定的“最大值”是0.50，“最小值”是 0.25。系统计算得出八个步距为 0.363 的刀具路径，该步距值可保证刀具在切削时相切于所有平行于单向和回转切削的壁面。

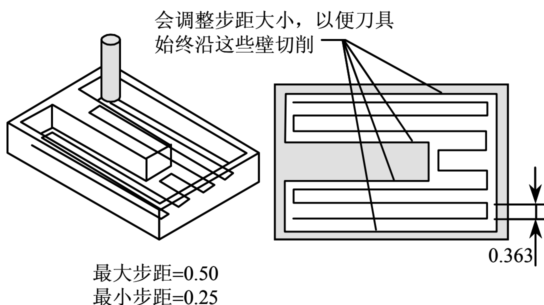


图 2-33　往复铣削中可变步距

如果为最大和最小步距指定相同的值，系统将严格地生成一个固定步距值，这可能导致刀具在沿平行于单向和回转切削的壁面进行切削时留下未切削的材料，如图 2-34 所示。

②〖跟随周边、跟随部件、轮廓铣和标准驱动〗：对于“跟随周边”、“跟随部件”、“轮廓铣”和“标准驱动”模式，用户可分别指定多个步距大小以及每个步距大小所对应的刀具路径数量。先输入的部分始终对应于距离边界最近的刀具路径，后输入的部分将逐渐向腔体的中心移动，如图 2-35 所示。

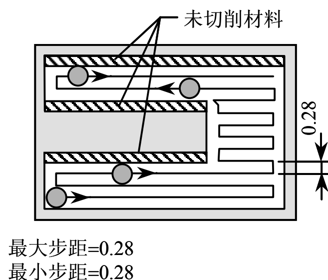


图 2-34　相同的最大和最小值

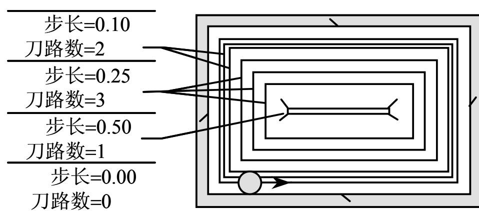


图 2-35　跟随周边的可变步距

当组合的步长和刀路数超出或无法填满要加工的区域时，系统将从切削区域的中心减去或添加一些刀路。如图 2-36 所示，组合的步长和刀路数超出了腔体的大小，系统将保留指定的距边界最近的 2 个刀路，但将减少腔体中心处的刀路（从指定的 10 个减少到 5 个）。

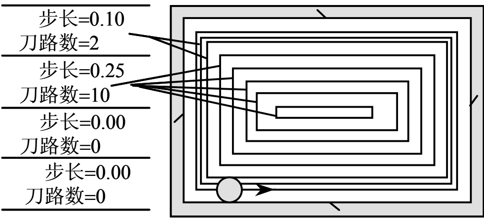


图 2-36　跟随周边的可变步距

提示

通常在高速铣加工中，要指定更小的切削步距，以便保持恒定的刀具切削载荷，通常为刀具直径的 10%。

2.3.3　切削层

利用“切削层”对话框，用户可以确定多深度切削操作中的切削层深度。使用方法是单击“刀轨设置”组框中的“切削层”按钮，弹出“切削深度参数”对话框，如图 2-37 所示。

在“切削深度参数”对话框中，提供了五种切削深度的定义方式：用户定义、仅底部面、底部面和岛的顶面、岛顶部的层、固定深度，下面逐一讲解。

（1）用户定义　允许用户定义切削深度参数，是最常用的切削深度定义方式。选择该选项后，用户可以输入最大切削深度、最小切削深度、初始层切削深度和最后层切削深度等。除初始层和最后层外的中间各层的实际切削深度介于最大值和最小值之间，将切削范围进行平均分配，并尽量取最大值，如图 2-38 所示。



图 2-37　切削深度参数对话框

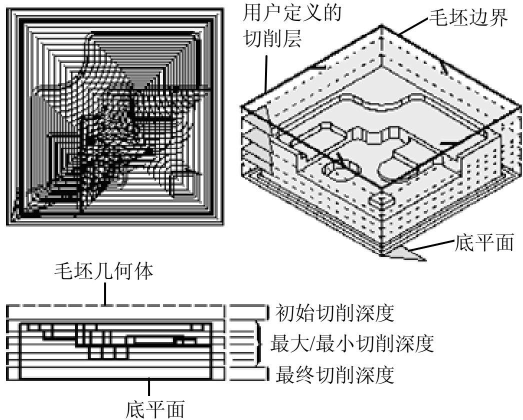


图 2-38　用户定义切削深度

“用户定义”方式切削深度参数的含义如下：

1）【最大与最小】：对于介于初始切削层与最终切削层之间的每一个切削层，由最大深度和最小深度指定切削层的深度方法，即指定一个切削深度。

2）【初始】：用于初始层切削深度为多层铣削操作定义的第一个切削层的深度。该深度从毛坯几何体顶平面开始测量，如果没有定义毛坯几何体，将从部件边界平面处开始测量，而且与最大或最小深度无关。

3）【最终】：最后层切削深度为多层铣削操作定义的在底面以上最后一个切削层的深度，该深度从底面开始测量。

4）【顶面岛切削】：顶面岛用于采用“用户定义”和“固定深度”两种类型，不能保证切削层恰好位于岛屿的顶面上，因此又可能导致岛屿顶面上有残余材料。勾选“顶面岛”复选框，系统会在每个岛屿的顶部创建一个仅加工岛屿顶部的切削路径，用于清理残余材料，如图 2-39 所示。

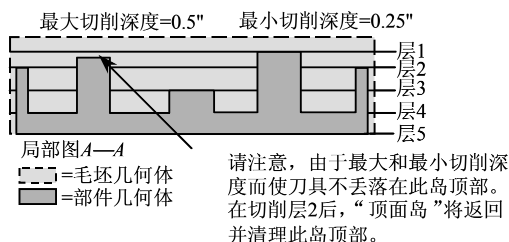


图 2-39　顶面岛选项

5）【侧面余量增量】：用于多深度平面铣削操作的在部件余量的基础上增加一个侧面余量值（例如 0.02mm），以保证刀具与侧面间的安全距离，减轻刀具的深层切削的应力，常用于粗加工中，如图 2-40 所示。

（2）仅底部面　“仅底部面”用于仅有一个切削层，刀具直接深入到底面切削来定义切削深度，如图 2-41 所示。

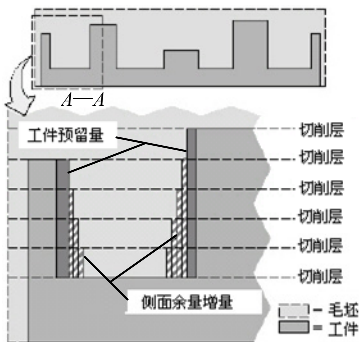


图 2-40　侧面余量增量

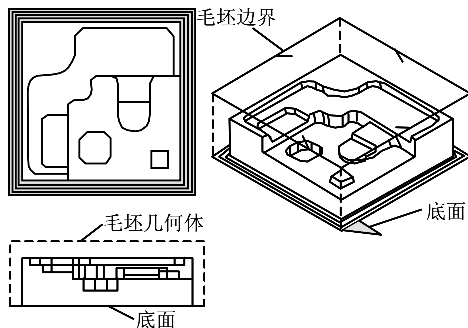


图 2-41　仅底部面定义切削深度

（3）底部面和岛的顶面　在底面上生成单个切削层，接着在每个岛顶部生成一条清理刀轨。清理刀路仅限于每个岛的顶面，且不会切削岛边界的外侧，因此适合做水平面精加工，如图 2-42 所示。

（4）岛顶部的层　在每个岛的顶部生成一个平面切削层，接着在底平面生成单个切削层。与“底部面和岛的顶面”的不同之处在于：每一层的刀轨覆盖整个毛坯断面，如图 2-43 所示。

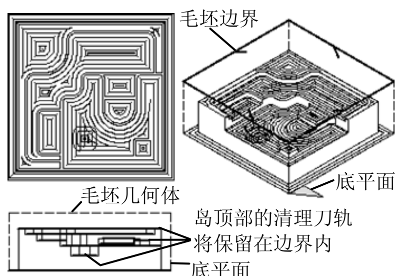


图 2-42　底部面和岛的顶面

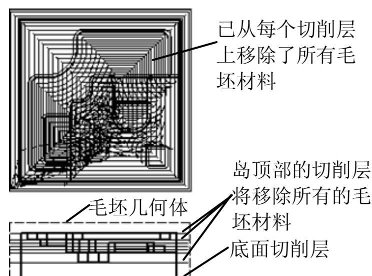


图 2-43　岛顶部的层

（5）固定深度　“固定深度”用于分多层铣削，输入一个最大深度值，除最后一层可能小于最大深度值外，其余层深度都等于最大深度值，如图 2-44 所示。

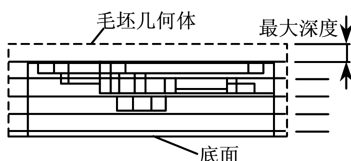


图 2-44　固定深度示意图

2.3.4　切削参数

针对不同的加工方法，“切削参数”对话框中的选项设置不同。单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框，用户可以确定操作中的各种切削参数，下面介绍常用的一些参数设置。

1.“策略”选项卡

单击“切削参数”对话框中的“策略”选项卡，如图 2-45 所示。

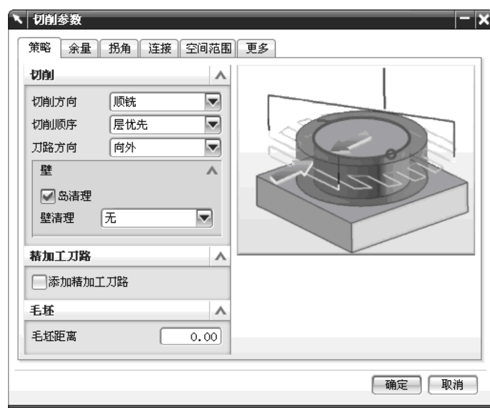


图 2-45　“策略”选项卡

1）【切削方向】：用于决定刀具切削时的进给方向，包括“顺铣切削”、“逆铣切削”、“跟随边界”和“边界反向”四个选项。

①〖顺铣和逆铣〗：顺铣切削是

指刀具进给方向与工件运动方向相同，而逆铣切削是指刀具进给方向与工件运动方向相反，如图 2-46 所示。

②〖跟随边界〗：刀具顺着边界的方向进给。

③〖边界反向〗：刀具逆着边界的方向进给。

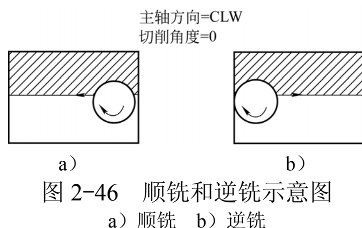


图 2-46　顺铣和逆铣示意图

a）顺铣　b）逆铣



提示

顺铣的功率消耗要比逆铣的小，在同等切削条件下，顺铣功率消耗要低 5%～15%，同时顺铣也更加有利于排屑。一般应采用顺铣法加工，以提高被加工零件的表面质量，保证尺寸精度。一般高速数控加工多用顺铣。

2）【切削顺序】：用于处理多切削区域的加工顺序，包括“层优先”和“深度优先”两个选项。

①〖层优先〗：刀具先在一个深度上铣削所有外形边界，再进行下一深度的铣削。在切削的过程中，刀具在各个切削区域间不断转换，如图 2-47 所示。

②〖深度优先〗：刀具先在一个外形边界铣削到设定深度后，再进行下一个外形边界的铣削。这种方式的提刀次数和转换次数较少，如图 2-47 所示。

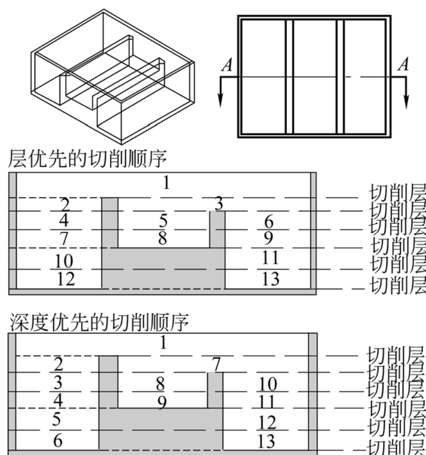


图 2-47　“切削顺序”选项



提示

对于高速加工薄壁腔体零件，采用“层优先”方式以减小切削力，提高加工质量。

3）【图样方式】：该选项仅用于“跟随周边”走刀方式。铣削过程中，铣削开始的位置是从毛坯的中心开始还是从毛坯的边界开始，包括“向内”和“向外”两个选项，系统默认为“向外”，如图 2-48 所示。

4）【岛清理】：用于“跟随周边”

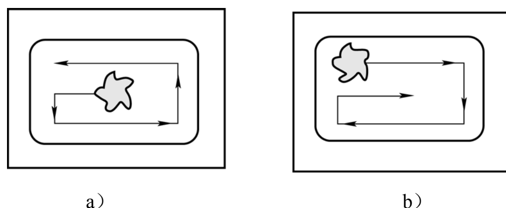


图 2-48　“向内”与“向外”选项示意图

a）向外　b）向内

和“轮廓铣”走刀方式。环绕岛的周围增加一次走刀，以清除岛侧面周围残留下来的材料，如图 2-49 所示。

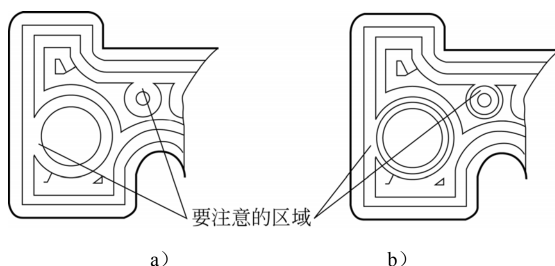


图 2-49 “岛清理”示意图
a）无岛清理 b）有岛清理



提示

“岛清理”主要用于粗加工切削，应指定部件余量，以防止刀具尚在切削不均等的材料时便将岛切削到位。使用跟随周边切削模式时，应打开“岛清理”。

5）【壁清理】：当应用单向切削、往复切削以及跟随周边切削方法时，用“壁清理”可以清理零件壁后或者岛屿壁上的残留材料。它是在切削完每一个切削层后插入一个轮廓铣轨迹来进行的。使用壁清理，就可以使用大直径刀具做粗加工，而不用担心侧面太粗糙，因此壁清理一般还是用来解决粗加工任务的。“壁清理”包括以下四个选项：

①〖无〗：不进行零件的侧壁清理。

②〖在起点〗：表示在每个切削层开始的第一刀作清理，即刀具在切削时，首先沿零件的侧壁产生一条刀具路径进行侧壁清理，再进行层的切削。

③〖在终点〗：表示在每个切削层开始的最后一刀作清理，即刀具在切削时，首先进行层的切削，再沿零件的侧壁产生一条刀具路径进行侧壁清理。

④〖自动〗：在切削过程中，系统根据实际情况，自动判断零件的清壁是在层切前还是层切后。

6）【精加工刀路】：用于刀具完成主要切削刀路后所作的最后切削的刀路。勾选“添加精加工刀路”复选框，并输入精加工步距值，以便在边界和所有岛的周围创建单个或多个轮廓铣削。



提示

系统只有在“底面”的切削层上生成此刀路，而且“精加工步距”指定精加工刀路的步距值，此值必须大于零。

7）【毛坯距离】：毛坯距离使平面铣的零件边界朝边界的材料侧的反侧或型

腔铣的所有零件几何体的表面朝外“偏置”一个毛坯距离值，从而“生成”毛坯（其实并没有看得见的毛坯边界或毛坯几何体），因此就不需要专门指定毛坯边界或毛坯几何体。

2．“余量”选项卡

单击“切削参数”对话框中的“余量”选项卡，如图 2-50 所示。



图 2-50 “余量”选项卡

“余量”选项卡各选项用于控制材料加工后的保留量，或者是各种边界的偏移量，各参数的含义如下：

1）【部件余量】：即切削余量。部件余量是零件加工后没有切除的材料量，这些材料在后续加工操作中将被切除，通常用于需要粗、精加工的场合。

2）【毛坯余量】：定义刀具离开毛坯几何体的距离。

3）【最终底面余量】：在底面和所有的岛屿顶面上，为后续加工保留的加工余量。

4）【检查余量】：定义刀具离开检查几何体的距离。如果检查几何体是工件本身不许刀具切削的部分，那么检查余量相当于这一部分的零件余量；如果检查几何体是夹具零件，检查余量是为了防止刀具干涉夹具零件的安全距离。

5）【修剪余量】：定义刀具离开修剪几何体的距离。

6）【内公差和外公差】：内公差限制刀具在切削过程中越过零件表面的最大距离；外公差限制刀具在切削过程中没有切至零件表面的最大距离指定的值越小，则加工的精度越高，如图 2-51 所示。

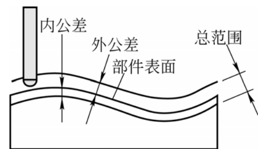


图 2-51　内公差和外公差



提示

高速加工刀具行进的速度更快，而且精度更高，就能切削出许多更佳完美的表面，故内外公差应设置更小。

3. “拐角”选项卡

单击“切削参数”对话框中的“拐角”选项卡，如图 2-52 所示。

“拐角”选项卡用于防止在刀具围绕腔体拐角移动时产生偏离或过切，是“平面铣”、“型腔铣”、“固定轴曲面轮廓铣”、“可变轴曲面轮廓铣”、“顺序铣”中的共同参数。对于凹角，通过自动生成稍大于刀具半径的拐角几何体（圆角），可以让刀具在工件内壁之间光滑过渡；对于凸角，刀具可以通过延伸相邻段或绕拐角滚动添加圆弧的方式来过渡工件。各参数的含义如下：

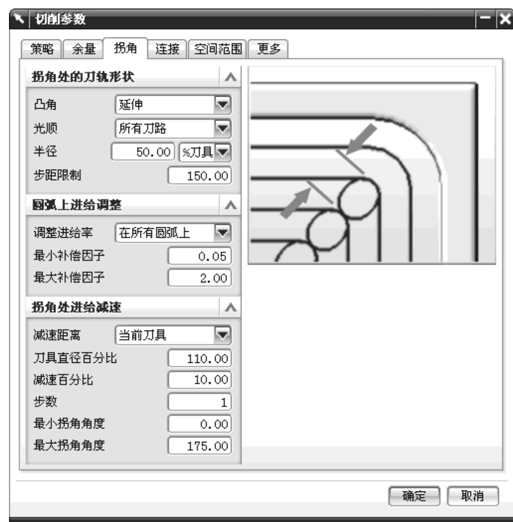


图 2-52 “拐角”选项卡

1）【凸角】：设置刀具在凸角处的走刀方式，包括以下选项：

①〖绕以下对象滚动〗：刀具在切削到拐角处时，插入一段圆弧用于过渡，该圆弧半径等于刀具半径，圆心位于拐角顶点。这能防止刀具进入那些可能过切部件的受限区域，如图 2-53a 所示。

②〖延伸并修剪〗：刀具在切削到拐角处时插入，沿拐角的切线方向延伸刀具路径，然后如有可能并对刀轨进行修剪以提高效率，如图 2-53b 所示。

③〖延伸〗：刀具超出边界形成尖锐的刀轨，这种方法有利于在工件上加工出尖锐凸角，但是不适合高速加工，如图 2-53c 所示。

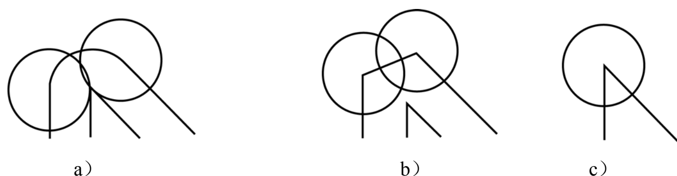


图 2-53 “凸角”示意图

a）绕以下对象滚动 b）延伸并修剪 c）延伸



提示

在高速加工中，将所有拐角加上一个圆角，以便去除尖角和瞬间移动，故采用“绕以下对象滚动”方式。

2）【光顺】：指定在刀轨的拐角部位添加一个圆角，使零件获得光滑的拐角表面。当切削方式为“跟随周边”、“跟随工件”时，可以将圆角半径添加到外部切削刀轨和内部切削刀轨；切削方式为“轮廓铣”、“标准驱动走刀”时，可将圆角添加到外部切削刀轨；在“单向”、“往复”切削时，不使用圆角。包括以下选项（如图 2-54 所示）：

①〖无〗：在所有的切削刀路中，刀轨拐角和步距不会应用光顺半径。

②〖所有刀路〗：用于将圆角添加到外部切削刀轨的拐角、内部切削刀轨的拐角以及在切削刀轨和步距之间形成的拐角。

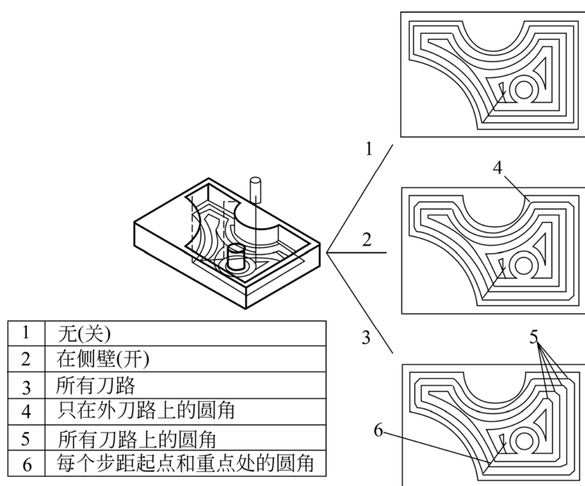


图 2-54　“光顺”选项示意图

③〖半径〗：用于输入光顺圆弧尺寸，建议半径值不要超过步距值的 50%。



提示

高速加工时，为所有拐角添加圆角尤其有用，可以防止方向突然变化，对机床和刀具造成过大的压力。为所有拐角添加圆角，还有助于为 Nurbs 输出生成刀轨，原因是光顺过渡比尖角更容易形成 Nurbs。

3）【圆弧上进给调整】：通常，进给率是指刀具中心的进给速度。在切削凹拐角形成的圆弧刀轨上，刀具圆周上接触材料的切削刃进给率大于中心进给率，导致切削负荷比直线切削时增加，可能引起扎刀导致过切，表面质量变粗糙；如

果切削凸拐角，情况相反。使用“圆弧上进给调整”自动实现对凸拐角和凹拐角处进给速度的调整，以解决上述问题。

①〖无〗：不设置进给率补偿。

②〖在所有圆弧上〗：在所有圆弧上补偿。“最小补偿因子”提供缩小进给率的最小减速因子，“最大补偿因子”提供缩小进给率的最大减速因子。

4）【拐角处进给减速】：用于降低刀具在切削拐角时的进给率，以减少刀具在切削拐角时出现啃刀现象。包括以下选项：

①〖无〗：不进行减速控制。

②〖当前刀具〗：使用本操作的刀具直径决定减速距离，如图 2−55a 所示。

③〖上一个刀具〗：使用本操作的刀具直径决定减速距离，如图 2−55b 所示。

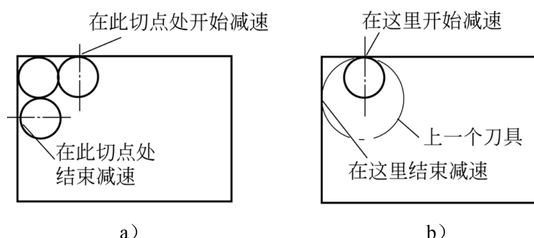


图 2−55　当前刀具和上一个刀具
a）当前刀具　b）上一个刀具

5）刀具在减速时，需要设置的相关参数有：

① 刀具直径百分比：使用刀具直径百分比作为减速距离，默认设置为 110%。

② 减速百分比：设置原有进给率的减速百分比。例如正常切削进给速度为 80mm/min，输入 10%表示减到最低的速度为 8mm/min。

③ 步数：设置应用到进给率的减速步数，默认设置为 1 步。因为在 NC 程序中，通过生成几个进给机能代码来实现减速的。

下面以图 2−56 为例，说明刀具的减速过程。从当前操作的刀具直径 50%的位置开始减速，由正常进给速度 30 分 5 步减到 3 步，也就是切削工件拐角的速度是正常速度的 10%。拐角材料切削完毕后，逐步增速到正常进给速度。

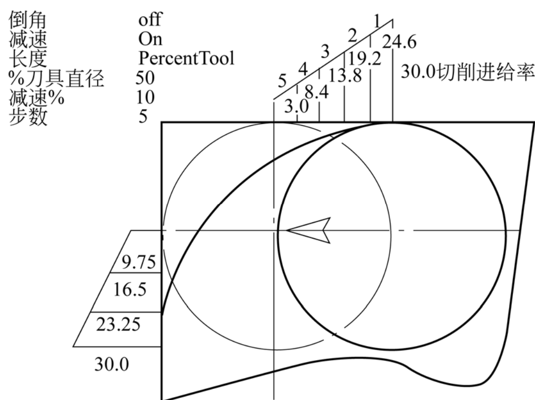


图 2−56 “拐角处进给减速”参数示意图

6）【拐角角度】：拐角控制只作用于角度在下列范围内的拐角，超出此范围的拐角，认为不必拐角控制。

①〖最小拐角角度〗：设置识别为拐角的最小角度，默认值为 0°。

②〖最大拐角角度〗：设置识别为拐角的最大角度，默认值为 175°。



提示

高速加工中一般要在转弯处开始减速，转过弯后再加速，从而保持切削的平稳。

4．“连接”选项卡

单击“切削参数”对话框中的“连接”选项卡，如图 2-57 所示。

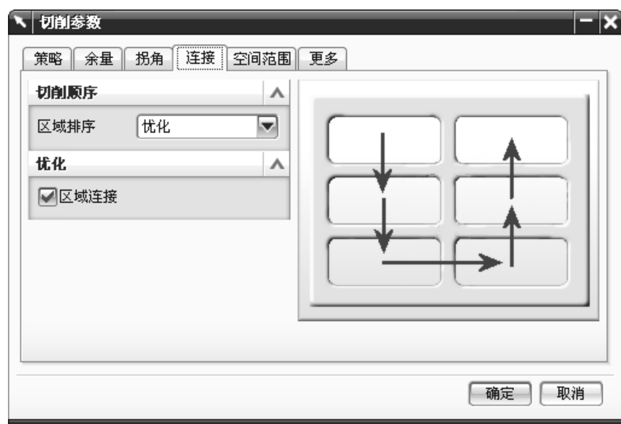


图 2-57　“连接”选项卡

“连接”选项卡上相关参数用于设置在多个切削区的情况下，在切削区之间的切削连接顺序。各参数的含义如下：

1）【区域排序】：合理的切削顺序可以减少横越运动的总长度，提供加工效率，包括以下选项：

①〖标准〗：按照切削区边界的创建顺序决定区域加工次序。如果几何和边界被编辑，这种顺序信息丢失，系统随意决定顺序，如图 2-58 所示。通常，该方法效果不好。

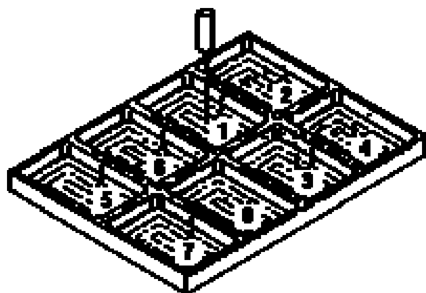


图 2-58　标准方式

②〖优化〗：按照横越运动的总长度最短的原则决定区域加工次序，系

统以减少空切和缩短走刀距离为依据进行优化，如图 2-59 所示。当使用“层优先”作为切削顺序来加工多个切削层时，优化功能将确定第一个切削层中的区域的加工顺序，第二个切削层中的区域将以相反的顺序进行加工，以此减少刀具在区域间的移动时间。这种交替反向将一直继续，直至所有切削层加工完毕。

③〖跟随起点和跟随预钻点〗：按照设置切削区的起始点和预钻点的顺序决定区域的加工次序，如图 2-60 所示。

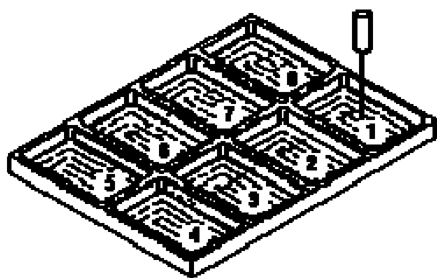


图 2-59　优化的排序

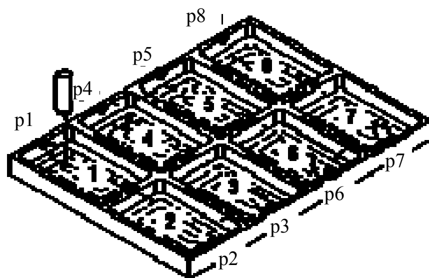


图 2-60　跟随起点

2）【区域连接】：在同一切削层的可加工区域内，可能因岛屿、窄通道的存在等因素导致形成多个子切削区域。勾选该选项，只在必要的情况下，刀具从前一个子区退刀，到下一个子区进刀；否则，在子区之间跨越时，刀具一定会退刀，以保证不会过切工件，如图 2-61 所示。

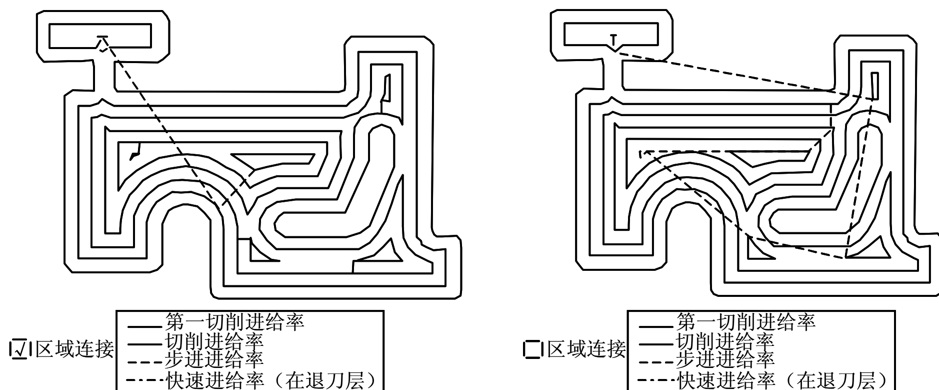


图 2-61　“区域连接”示意图

5. “空间范围”选项卡

单击“切削参数”对话框中的“空间范围”选项卡，如图 2-62 所示。



图 2-62　“空间范围”选项卡

1）【处理中的工件】：处理中的工件 IPW 就是 In Process Workpiece，该组框用于设置在切削加工中，当前平面铣操作是否使用上一个操作加工后形成的 IPW 作为毛坯。

①〖无〗：使用现有的毛坯几何体（如果有），或切削整个型腔。

②〖使用 2D IPW〗：在同一几何体组中使用先前操作的 2D IPW 几何体，如图 2-63 所示。图 2-63a 为第一次刀具加工加工结果，图 2-63b 为第二次只加工前次未切削的区域。

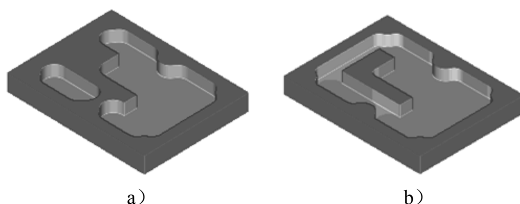


图 2-63　使用 2D IPW 示意图

a）第一次刀具加工结果　b）第二次只加工前次未切削的区域

③〖使用参考刀具〗：在同一几何体组中使用上一个刀具未加工到的拐角中剩余的材料作为毛坯，刀具直径可在下方的“参考刀具”组框中指定。

2）【参考刀具】：要加工上一个刀具未加工到的拐角中剩余的材料时，可使用“参考刀具”。如果是刀具拐角半径的原因，则剩余材料会在壁和底部面之间；如果是刀具直径的原因，则剩余材料会在壁之间。在选择了参考刀具的情况下，操作的刀轨与其他型腔铣或深度加工操作相似，但是会仅限制在拐角区域。

3）【重叠距离】：用于设置未切区域的偏置值，使未切区域创建的永久边界和曲线相对于未切区域的边缘往外偏置。也就是说，使这些永久边界和曲线比实际的未切区域大一些，如图 2-64 所示。

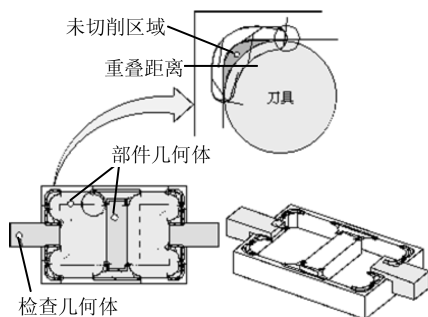


图 2-64　重叠距离示意图



提示

如果指定了重叠距离，就意味着创建的未切削区边界与零件边界有重叠的部分。在利用未切削区边界创建清理未切削区材料操作时，系统只要用户指定了零件边界，刀具不会侵犯未切削区边界与零件边界的重叠部分。

6. **“更多”选项卡**

单击“切削参数”对话框中的“更多”选项卡，如图 2-65 所示。



图 2-65　“更多”选项卡

1)【部件安全距离】：部件安全距离定义了刀具所使用的自动进刀/退刀距离。它为部件定义刀具夹持器不能触碰的扩展安全区域，如图 2-66 所示。

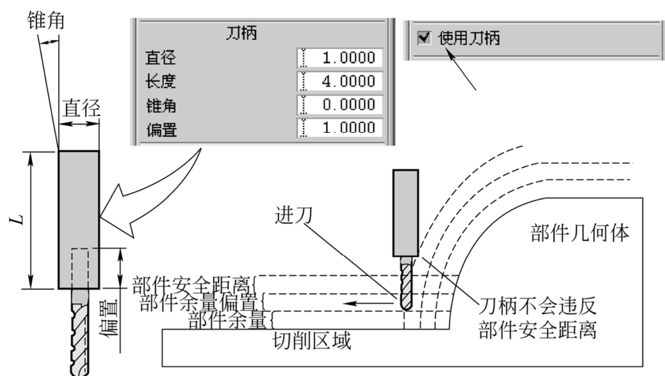


图 2-66　安全距离示意图

2)【边界逼近】：当粗加工时，仿形零件曲线边界的曲线刀轨没有必要精确

对应边界的形状，可以用多边形刀轨替代，以减少处理时间和数据。勾选“边界逼近”复选框，从靠近边界的第二刀开始，曲线刀轨变粗糙，如图 2-67 所示。

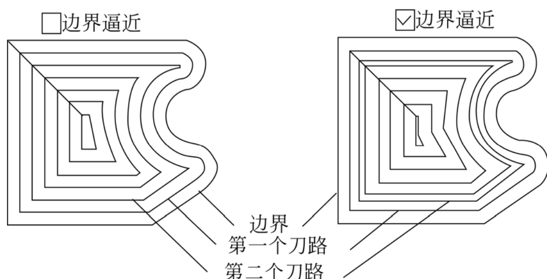


图 2-67　边界逼近示意图

3）下限选项：用于指定刀具最低达到的范围，包括以下三个选项：

①〖使用继承的〗：选择该选项，系统将使用已经存在的下限平面作为当前操作的下限平面。

②〖无〗：选择该选项，不定义下限平面。

③〖平面〗：选择该选项，单击“指定下限平面”按钮，弹出“平面构造器”对话框。利用该对话框可选择或创建一个平面作为下限平面，系统以虚线三角形在图形区显示。

2.3.5　进给和速度

单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给和速度”对话框，如图 2-68 所示。通过该对话框，用户可确定主轴转速或每齿进给量。



图 2-68　“进给和速度”对话框

1）【表面速度 smm】：刀刃的线速度，它在各个齿的切削边处测量，测量单位是 m/min（smm）。

2）【每齿进给】：每齿进给，它以 mm 为单位（mm）。

3）【主轴速度】：主轴转速，单位是 r/min（rpm）。

2.3.6　机床控制

“机床控制”用于指定机床事件，例如刀具更改、开始和结束事件（为用户定义的）或者特殊的后处理命令，以及控制运动输出的类型，如图 2-69 所示。



图 2-69　“机床控制”选项

1．开始刀轨事件和结束刀轨事件

用于用户定义开始和结束刀轨时输入后处理的命令。

2．运动输出

用于控制刀具路径的生成方式，包括以下选项：

（1）仅线性　生成的刀具路径全部由直线走刀组成，在刀具路径中不存在圆弧走刀，在圆角处的圆弧走刀则由多条直线走刀逼近。因此，在刀具位置源文件（CLSF）中只有 GOTO 语句，没有 Circle 语句。在后置处理程序中也只能见到 G01 语句，而没有 G02 和 G03 语句。

（2）圆弧—垂直于刀轴　在垂直于刀轴平面内，刀具运动尽可能由圆弧走刀组成，系统可将一系列直线走刀用一个圆弧走刀近似替代。刀具路径段为直线或不垂直于刀轴的曲线时，刀具运动是直线走刀；刀具路径段为曲线且垂直于刀轴时，刀具运动由圆弧走刀近似替代。因此，在刀具位置源文件（CLSF）和后置处理程序中既可能有直线走刀语句，也可能有圆弧走刀语句。

（3）圆弧—垂直/平行于刀轴　在垂直于或平行于刀轴平面内，刀具运动尽可能由圆弧走刀组成，系统可将一系列直线走刀用一个圆弧走刀近似替代。因此，在刀具位置源文件（CLSF）和后置处理程序中既可能有直线走刀语句，也可能有圆弧走刀语句。

（4）Nurbs　系统使刀具尽可能沿着 B 样条曲线移动，而不是沿近似的直线圆弧移动。刀具路径段为直线时，刀具运动是直线走刀；刀具路径段为曲线时，刀具运动由 B 样条走刀近似替代。因此，在刀具位置源文件（CLSF）和后置处理程序中既可能有直线走刀语句，也可能有 B 样条走刀语句，但是无圆弧走刀语句。当用五坐标高速加工光顺精度要求高的表面时，应该选择该方式。

在 UG NX 7.0 中如果选择 Nurbs 选项后，系统弹出“Nurbs 运动”对话框，如图 2-70 所示。该选项用于设置分段的 Nurbs 曲线是否连接成一条曲线，以及是否用角度公差和拟合公差控制曲线连接的光滑程度。



图 2-70 “Nurbs 运动”对话框

1）【连接分段】：连接分段可决定单独的曲线段是否合并在一起形成一条曲线，以便构成每个切削刀路的单个 Nurbs，如图 2-71 所示。

2）【角度公差】：当选中“连接分段”时，“角度公差”可用。该选项允许决定在构成 Nurbs 的连接曲线之间所形成的哪些角度将被光顺。小于或等于指定“角度公差”的角度将被光顺处理；大于指定“角度公差”的角度将不进行光顺处理。要获得可靠的结果，应使用小于等于 5° 的角度公差，如图 2-72 所示。

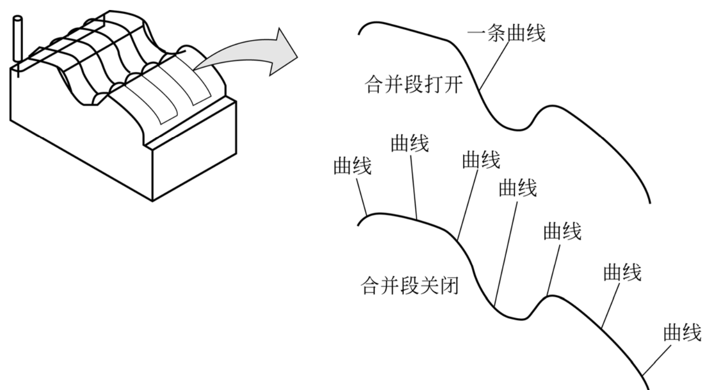


图 2-71　连接分段

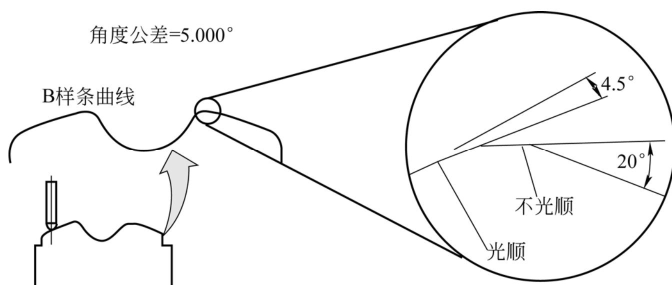


图 2-72　小于指定角度公差的角度将被光顺处理

3）【拟合控制公差】:“拟合控制公差”与“角度公差”结合使用，指定的拟合控制公差决定了应用到角度的光顺程度。拟合控制公差越大，曲线之间的圆角就越光顺，如图 2-73 所示。

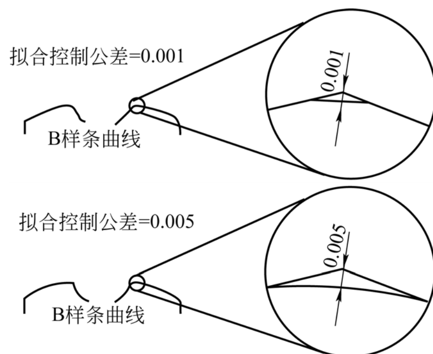


图 2-73　更大的拟合控制公差可形成更光顺的圆角

除了决定应用到角度的光顺程度之外，拟合控制公差还可决定刀轨跟随 Nurbs 的准确程度。更严格的公差（通过更小的值定义）会使刀轨更准确地跟随 Nurbs，如图 2-74 所示。

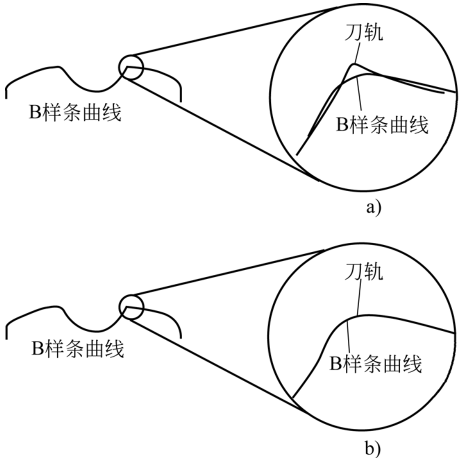


图 2-74 松拟合控制公差和紧拟合控制公差

a）松拟合控制公差 b）紧拟合控制公差

2.3.7 非切削移动

刀具运动分为两部分：一部分是刀具切入工件之前或离开工件之后的刀具运动，称为非切削移动；另一部分是刀具去除零件材料的切削移动，如图 2-75 所示。刀具切削零件时，由零件几何形状决定刀具路径；而在非切削移动中，刀具路径则由非切削移动参数控制。

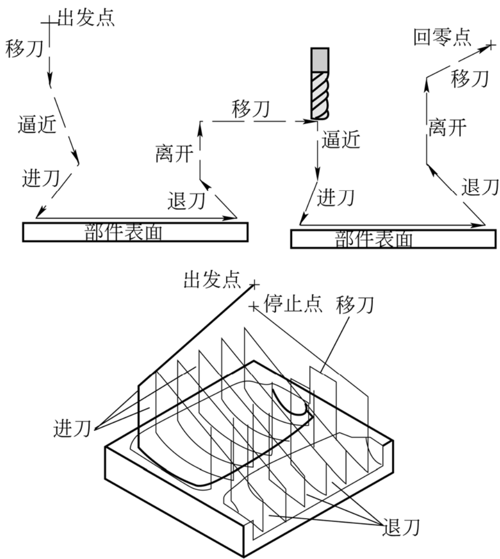


图 2-75 刀具的非切削移动示意图

在 UG NX7.0 中单击“刀轨设置”组框中的“非切削移动”按钮，弹出“非切削移动”对话框，可用于设置相关非切削移动参数。

1. “进刀”选项卡

单击“非切削移动”对话框中的“进刀”选项卡，如图 2-76 所示。用户可设置刀具进刀的运动方式。

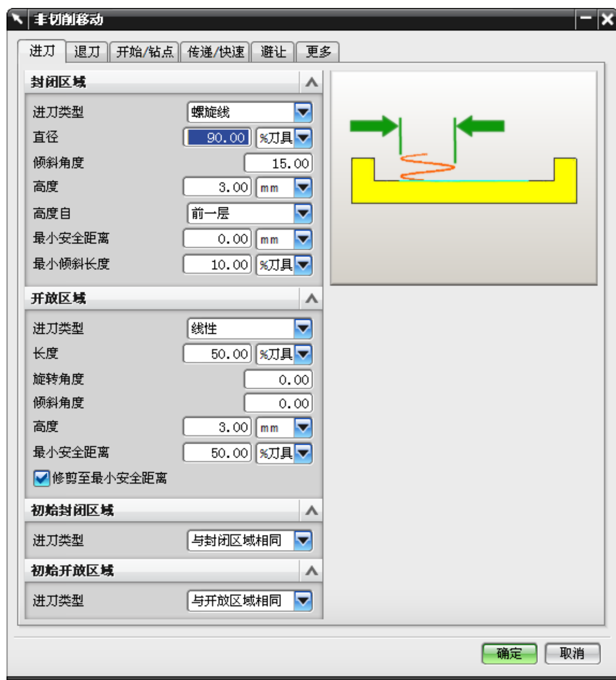


图 2-76　“进刀”选项卡

“进刀”选项卡包括两个组框：“封闭区域”和“开放区域”。“封闭区域”是指刀具到达当前切削层之前必须切入材料中的区域，“开放区域”是指刀具在当前切削层可以凌空进入的区域。

1）【封闭区域】：“封闭区域”组框的“进刀类型”包括有“与开放区域相同”、“螺旋线”、“沿形状斜进刀”、“插铣”和“无”等 5 种进刀类型。

①〖与开放区域相同〗：处理封闭区域的方式与开放区域类似，且使用开放区域移动定义。

②〖螺旋线〗：螺旋线将创建与第一个切削运动相切的、无碰撞的螺旋状进刀移动，用于“跟随周边”和“跟随工件”切削方式中，如图 2-77 所示。使用“最小安全

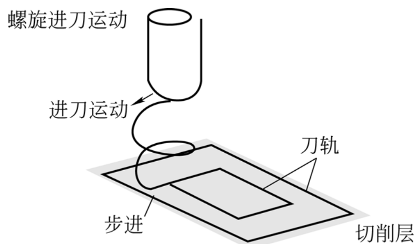


图 2-77　“螺旋线”进刀方式

距离”，可避免使用部件/检查几何体。如果无法满足螺旋线移动的要求，则替换为具有相同参数的倾斜移动。

a．螺旋直径%：用刀具直径的百分比表示最大螺旋刀轨直径，如图 2-78 所示。螺旋线的默认直径是刀具直径的 90%，并允许螺旋线与刀有 10%的重叠，可防止在螺旋线中央留下一根立柱。

b．倾斜角度：指定进刀轨迹的斜角。斜角在垂直于零件的表面内测量，范围为 0～90º，如图 2-79 所示。

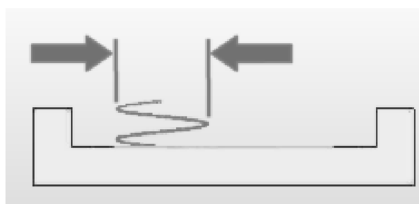


图 2-78 螺旋直径示意图

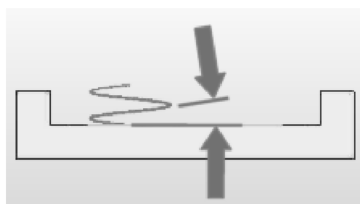


图 2-79 倾斜角度示意图

c．高度：指定要在切削层的上方开始进刀的距离，如图 2-80 所示。

d．最小安全距离：用于设定进刀轨迹与工件的侧面之间的距离，防止刀具在接近工件时发生撞刀，如图 2-81 所示。

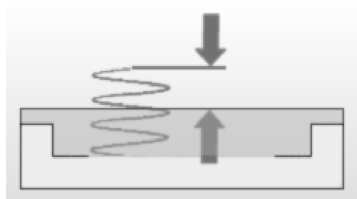


图 2-80 高度示意图

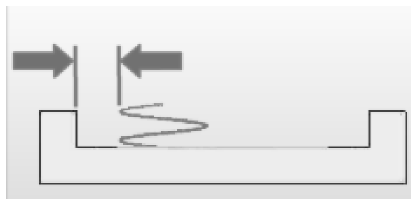


图 2-81 最小安全距离示意图

e．最小倾斜长度：用刀具直径的百分比表示刀具从斜坡的顶部到底部的最小刀轨距离。为了防止在没有中心刃的铣刀加工时，斜式或螺旋进刀运动距离太小，造成刀具中心与工件材料的冲突，最小倾斜长度按照下式计算：2×刀具直径−2×刀片宽度。

③〖沿形状斜进刀〗：进刀轨迹沿刀具轴投影到层的刀轨平面内，刚好与刀轨重合，如图 2-82 所示。它用于“跟随周边”和“跟随工件”切削方式中，相关参数与“螺旋”基本相同。

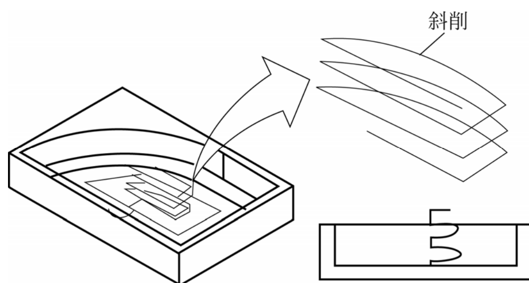


图 2-82 沿形状斜进刀

④〖插铣〗：“插铣”将直接从指定的高度进刀到部件内部，

如图 2-83 所示。需要注意的是，“高度值”必须大于要加工的面上剩余材料的量。

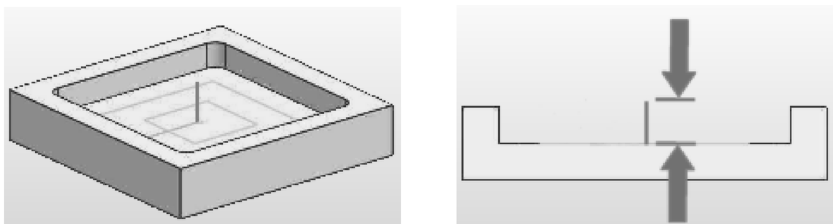


图 2-83 “插铣”进刀方式

⑤〖无〗：将不输出任何进刀移动。这消除了在刀轨起点的相应逼近移动，并消除了在刀轨终点的离开移动。

2）【开放区域】：刀具在开放区域的“进刀类型”包括以下选项：

①〖与封闭区域相同〗：开放区域的进刀方式与封闭区域的进刀方式相同。

②〖线性〗：刀具将沿直线进刀，如图 2-84 所示。

③〖线性-相对于切削〗：创建与刀轨相切（如果可行）的线性进刀移动。与“线性”不同的是，“旋转角度”是始终相对于切削方向的。

④〖圆弧〗：创建一个与切削运动起点相切的圆弧进刀移动，如图 2-85 所示。

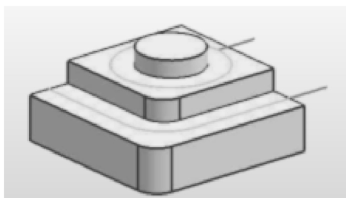


图 2-84 “线性”进刀方式

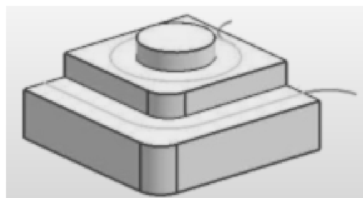


图 2-85 “圆弧”进刀方式

⑤〖点〗：将通过选择的点来控制进刀路径，如图 2-86 所示。

⑥〖线性-沿矢量〗：通过一矢量方向作为进刀方向，刀具沿指定方向直线进刀，如图 2-87 所示。

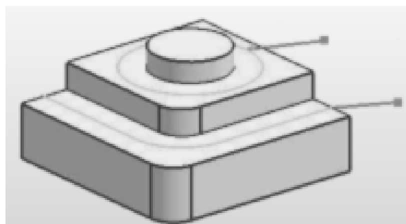


图 2-86 “点”进刀方式

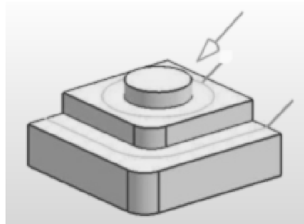


图 2-87 “线性-沿矢量”进刀方式

⑦〖角度 角度 平面〗：用两个角和一个平面来指定进刀移动。角度可确定

进刀运动的方向，平面可确定进刀起点，如图 2-88 所示。

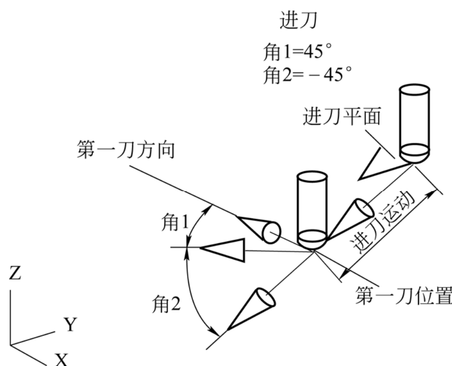


图 2-88 “角度 角度 平面”进刀方式

⑧〖矢量平面〗：通过一个矢量和一个平面来指定进刀运动。矢量确定进刀运动的方向，平面确定进刀起始点，如图 2-89 所示。

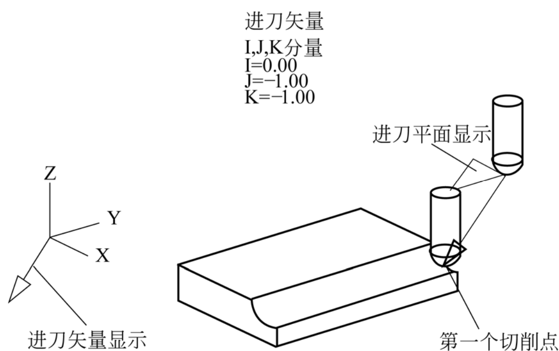


图 2-89 “矢量平面”进刀方式

⑨〖无〗：不创建进刀移动。进刀移动（如果需要）直接与切削移动相连。

3）【初始封闭区域】：控制刀具初始移动到第一个封闭区域切削区域/层的进刀运动。

4）【初始开放区域】：控制刀具初始移动到第一个开放区域切削区域/层的进刀运动。



提示

高速加工采用带有低平斜坡角度的螺旋进刀运动，以避免刀具突然接触工件产生加工振动，影响加工质量。

2．“退刀”选项卡

单击“非切削移动”对话框中的“退刀”选项卡，如图 2-90 所示。用户可设置刀具退刀的运动方式。



图 2-90　“退刀”选项卡

1）【退刀】：用于设置从切削层的切削刀轨的最后一点到退刀点之间的运动，以退刀速度进给。“退刀”参数与“进刀”参数基本相同，只是“退刀类型”多了一项“抬刀”选项。“抬刀”将指定在切削运动结束时的竖直退刀，可在“高度”文本框中输入抬刀的高度，如图 2-91 所示。

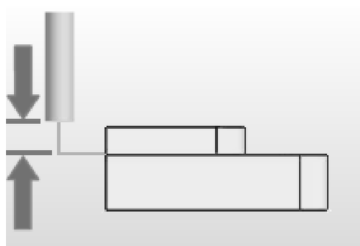


图 2-91　“抬刀”退刀类型

2）【最终】：控制刀具在每个切削区的最后一层切削刀轨结束处的退刀点及其退刀运动。

3．“开始/钻点”选项卡

单击“非切削移动”对话框中的“开始/钻点”选项卡，如图 2-92 所示。

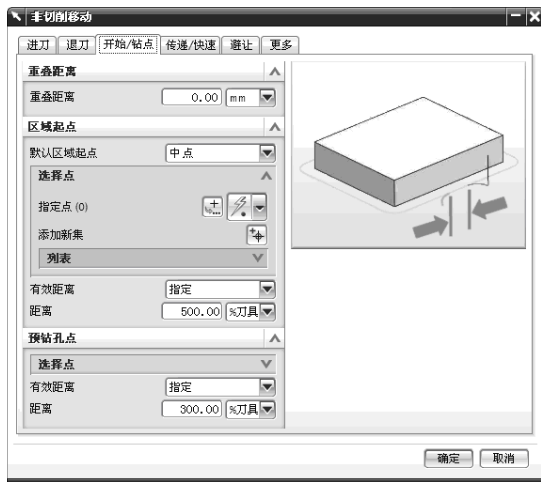


图 2-92　“开始/钻点”选项卡

1）【重叠距离】：指定切削结束点和起点的重合深度，将确保在进刀和退刀移动处进行完全清理。如图 2-93 所示，刀轨在切削刀轨原始起点的两侧同等地重叠（下面的距离 *A*）。无论何时使用“自动”进刀和退刀移动，都会实施重叠。

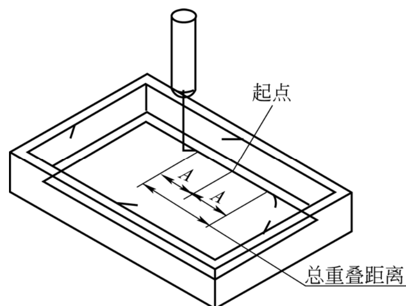


图 2-93　进刀和退刀的重叠距离

2）【区域起点】：平面铣是由多层 2 轴刀轨构成，每一切削区的每层切削刀轨都有一个起始点，称为切削区域起始点。切削区域起始点位置可以由系统自动决定，也可以由用户决定。实际切削区域起始点一般并不会刚好在用户定义的切削区域起始点位置，但系统会根据切削区域形状等因素决定一个最接近用户定义的起始点的位置，作为实际切削区域刀轨起始点，因此切削区域起始点位置只需要大致指定即可。在图 2-94 中，系统使用定制起点 *A* 来定义切削层 1 的进刀位置，使用定制起点 *B* 来定义切削层 2 和 3 的进刀位置。因为刀具不能精确定位到点 *A* 和 *B*，因此系统将每个区域的进刀位置定义为与最近的区域起点尽可能接近。

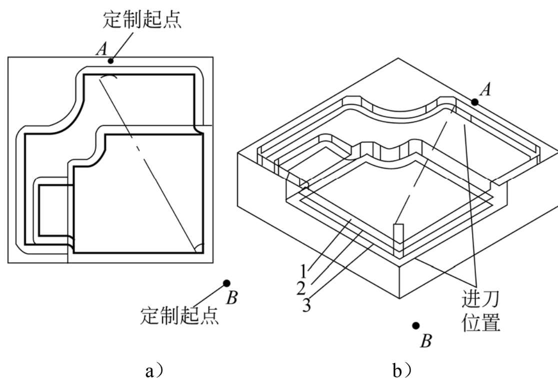


图 2-94　切削区域起点，轮廓切削模式

“默认区域起点”包括以下两个选项：

①〖中点（默认）〗：从封闭边界的中点开始。

②〖角〗：从指定边界的起点开始。

3）【预钻孔点】：在平面铣槽加工中，经常是在整块实心毛坯上铣削。在铣削之前，可在毛坯上位于每个切削区的适当位置预先钻一个孔，用于铣削时进刀。所定义的预钻孔点沿着刀轴投影到用来定位刀具的“安全平面”上，形成刀具的进刀点。切削时，刀具在安全平面开始沿刀具轴方向对准预钻孔点进刀，到达某切削层的位置，然后直接以切削进给速度水平移动到切削层刀轨的起始点，开始此层的切削，如图 2-95 所示。

“有效距离”选项用于设置预钻孔点的切削深度范围，具体包括以下两个选项：

①〖指定〗：用于指定预钻孔点的切削深度范围。指定了深度后，预钻孔进刀点只在深度范围内起作用。

②〖无〗：预钻孔点将用于每一个切削层。

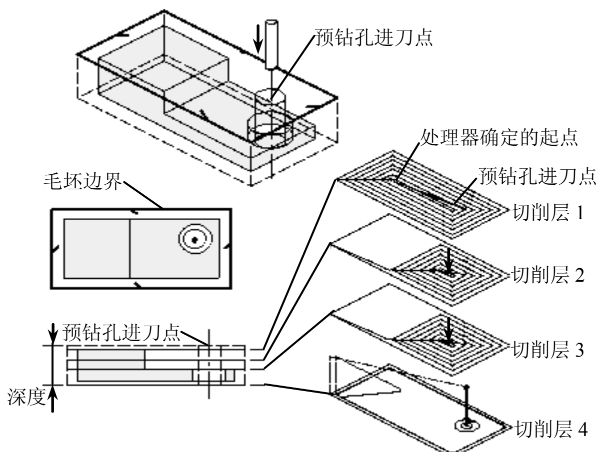


图 2-95　预钻孔点示意图

4．“传递/快速”选项卡

单击“非切削运动”对话框中的“传递/快速”选项卡，如图 2-96 所示。用户可设置安全平面、刀具在不同切削区域之间、刀具在相同切削区域的运动方式。



图 2-96　“传递/快速”选项卡

1）【间隙】：“安全设置选项”参数是刀具在接近工件的过程中保持到工件表面的安全参数。从这个位置开始到切削刀轨起始点之间，从接近速度转化为进刀速度进给，以防止刀具在接近工件时发生撞刀。“安全设置选项”组框包括以下四个选项：

①〖使用继承的〗：使用在机床坐标系 MCS 中设置的安全平面。

②〖无〗：不使用安全平面。

③〖自动〗：从工件上表面开始向上，在“安全距离”文本框所设定距离处进行安全设置。

④〖平面〗：安全平面是在指定离工件一定距离处定义一个平面，该平面不仅可以控制刀具的非切削运动，而且还可以避免刀具在工件上移动时与工件相碰。

2）【区域之间】：“区域之间”控制添加以清除不同切削区域（部件上不同区域）之间障碍的退刀、传递和进刀。传递方式是刀具从一个切削区转移到下一个切削区的运动。如果可能，刀具的横越路线绕过岛屿和侧面；如果不行，刀具从一个区的提刀点提升到用于在此指定的平面高度处作横越运动，到达下一个区的进刀点的上方，然后从平面处朝进刀点（或切削起始点）移动。该方式的“传递类型”有以下五种：

①〖间隙〗：采用“间隙”组框中的“安全设置”选项，通常为“安全平面”方式，刀具在安全平面或垂直安全距离的高度上作横越运动，如图 2-97 所示。

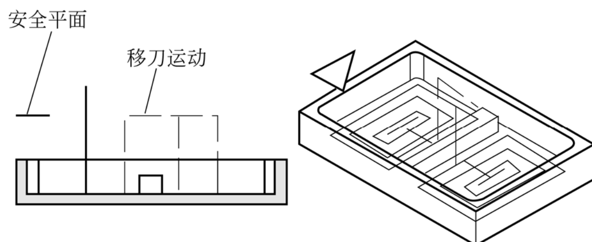


图 2-97 “间隙”移刀方式

②〖前一平面〗：刀具完成一个切削层的切削后，提升到上一切削层的高度作横越运动。无论如何，如果可能与零件干涉的话，刀具必须提升到安全平面或毛坯顶面的高度作横越运动，如图 2-98 所示。

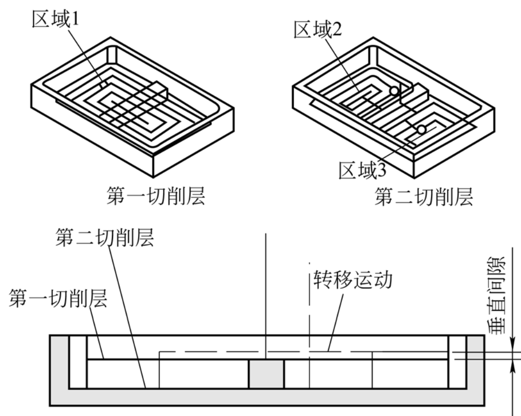


图 2-98 “前一平面”移刀方式

③〖直接〗：刀具从当前位置直接移动到下一区的进刀点，如果没有定义进刀点，就是切削起始点，如图 2-99 所示。该方式不考虑与零件几何体的干涉，因此可能撞刀，必须小心使用。

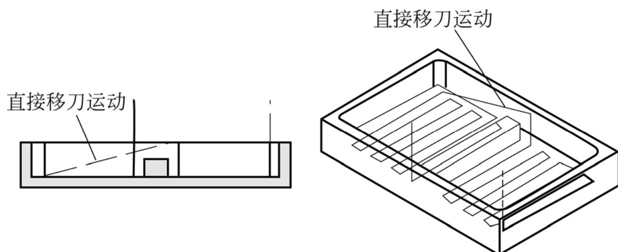


图 2-99 “直接”移刀方式

④〖最小安全值 Z〗：通过指定最小的距离设置横越运动的高度，如果该高度值小于需要，系统自动使用“前-平面”作为传递方式。此方式优于“直接”和“前-平面”，兼顾了效率和安全。

⑤〖毛坯平面〗：在“平面铣”中，毛坯平面是指定的部件边界和毛坯边界中最高的平面。在“型腔铣”中，毛坯平面是指定的切削层中最高的平面。刀具提升到毛坯平面横越比提升到安全平面提升高度有利于提高效率，如图 2-100 所示。

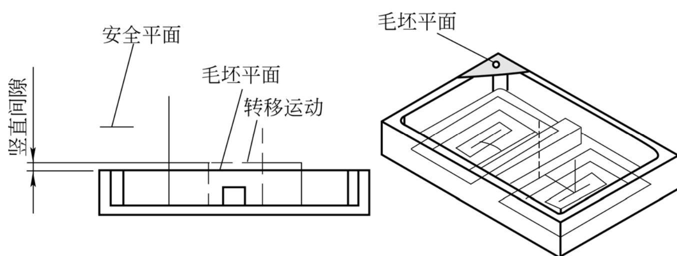


图 2-100 “毛坯平面”移刀方式

3）【区域内】：“区域内”控制添加以清除切削区域内或切削特征层之间材料的退刀、传递和进刀，包括以下选项：

①〖传递使用〗：指定使用传递的方式，包括“无”、“进刀/退刀”和“抬刀/插铣”三种。

a.〖进刀/退刀（默认）〗：使用默认的进刀/退刀定义。

b.〖抬刀/插铣〗：以竖直移动进刀和退刀。

c.〖无〗：不在区域内添加进刀或退刀移动。

②〖传递类型〗：用于控制传递的位置参数，相关参数的含义与“区域之间”基本相同。

4）【初始的和最终的】：控制操作的初始移动到第一切削区域/层，并使操作

的最终移动远离最后一个切削位置。

①〖逼近类型〗：到第一切削层操作的初始移动遵循逼近传递顺序，包括以下选项：

a.【间隙】：从“间隙”组框指定的安全平面移动到进刀点。

b.【相对平面】：定义了一个平面，逼近移动从这一平面移动到进刀点。

c.【无】：不添加初始逼近移动。

②〖离开类型〗：操作的最终移动遵循离开传递顺序，包括以下选项：

a.【间隙】：从退刀点移动到从“间隙”组框指定的安全平面。

b.【相对平面】：定义了一个平面，“离开”从退刀点移动到该平面。

c.【无】：不添加最终离开移动。

5.“避让”选项卡

单击“非切削移动”对话框中的“避让”选项卡，可进行避让设置，如图 2-101 所示。

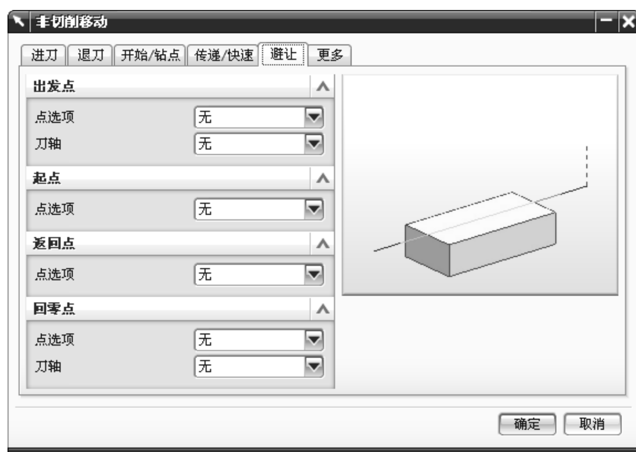


图 2-101 “避让”选项卡

避让几何是控制刀具在切削前和切削后的非切削运动的位置。避让几何由“出发点”、“起点”、“返回点”和“回零点”组成，但一般情况下，只需定义“出发点”和“回零点”，即可以防止刀具干涉工件。

1)【出发点】：“出发点”用于指定刀具在开始运动前的刀具初始位置。如果没有指定出发点，系统把刀具第 1 加工运动的起刀点作为刀具的初始点。

2)【起点】：起点是刀具运动的第 1 个目标点，如果定义了初始点，刀具以直线运动方式从出发点快速移动到起点；如果还定义了安全平面，则由起刀点竖直向上。在安全平面上取一点，刀具以直线运动方式从出发点快速移动到该点，然后从该点快速移动到起点。

3）【返回点】：返回点是指离开零件时的运动目标点。当完成切削运动后，刀具以直线运动方式从最后切削点或退刀点快速移动到返回点。如果定义了安全平面，由最后切削点或退刀点竖直向上，在安全平面上取一点，刀具以直线运动方式从最后切削点或退刀点快速移动到该点。返回点应该设置在安全平面之上。

4）【回零点（停止点）】：回零点是刀具最后的停止位置。常用出发点作为回零点，刀具以直线方向从返回点快速移动到回零点，包括“无”、“与起点相同”、“回零-没有点”和“指定”四种。

6．“更多”选项卡

单击“非切削移动”对话框中的“更多”选项卡，用户可设置刀具补偿方式，如图 2-102 所示。

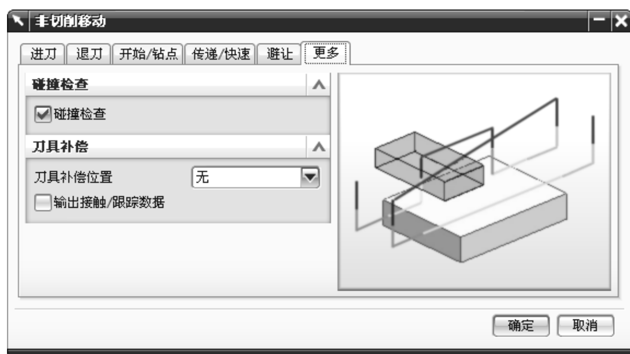


图 2-102　“更多”选项卡

1）【碰撞检查】：勾选“碰撞检查”复选框，可检测与部件几何体和检查几何体的碰撞。如果原移动过切，则可避免碰撞；如果不能进行无过切移刀运动，则会发出警告。

2）【刀具补偿】：指定何处应用刀具补偿。“刀具补偿位置”包括以下选项：

①〖无〗：在任何刀轨均不进行刀具补偿。

②〖所有精加工刀路〗：在所有的精加工刀具路径上均进行刀具补偿。

③〖最终精加工刀路〗：仅在最终精加工刀具路径上进行刀具补偿。

2.4　本章小结

本章首先介绍了平面铣削边界的类型与创建方法，然后介绍了平面铣高速加工的参数意义与操作，包括切削层、步长、切削模式、切削参数等知识。由于参数选项比较多，学习起来有一定难度，因此读者熟悉了解主要的参数说明即可。对于一些不大常见的选项，则需要在实践中进行理解和掌握。

第 3 章　UG NX 7.0 型腔铣高速加工

型腔铣用于加工非直壁的、岛屿的顶面，以及槽腔的底面为平面或曲面的零件。在许多情况下，型腔铣可以代替平面铣。型腔铣在数控加工中应用最为广泛，可用于大部分粗加工以及直壁或者斜度不大的侧壁的精加工，也可用于平面的精加工以及清角加工等。

型腔铣和平面铣都可移除那些垂直于刀轴的切削层中的材料，但是这两种操作用于定义材料的方法却不同，主要有：

1）“平面铣”一般使用边界来定义“部件”材料，“型腔铣”使用边界、面、曲线和体来定义“部件”材料。

2）“平面铣”用于切削具有竖直壁的部件以及垂直于刀轴的平面岛和底面，“型腔铣”用于切削具有带锥度的壁以及轮廓底面的部件。

本章重点对型腔铣加工几何体和操作参数进行介绍。

3.1　型腔铣高速加工原理与特点

下面对型腔铣高速加工原理与特点做一概要介绍。

3.1.1　型腔铣的加工原理

型腔铣的加工特征是在刀具路径的同一高度内完成一层切削，当遇到曲面时会绕过，再下降一个高度进行下一层的切削。系统按照零件在不同深度的断面形状计算各层的刀路轨迹，原理过程如图 3-1 所示。可以理解成在一个由轮廓组成的封闭容器内，由曲面和实体组成容器中的堆积物，在容器中注入液体，在每一个高度上，液体存在的位置均为切削范围。

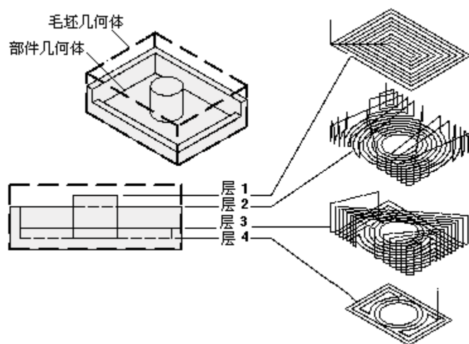


图 3-1　“型腔铣”的切削原理

3.1.2　型腔铣加工的特点

型腔铣与平面铣一样，也是在与 XY 平面平行的切削层上创建刀位轨迹，其操作有以下特点：

1）刀轨为层状，切削层垂直于刀具轴，一层一层的切削，即在加工过程中机床两轴联动。

2）采用边界、面、曲线或实体定义刀具切削运动区域（即定义部件几何体和毛坯几何体），但是在实际应用中大多数采用实体。

3）切削效率高，但会在零件表面上留下层状余料，因此型腔铣主要用于粗加工，但是某些型腔铣操作也可以用于精加工，此时需要用户设置好切削层位置和参数。

4）适用于带有倾斜侧壁、陡峭曲面及底面为曲面的工件的粗加工与精加工，典型零件如模具的动模、定模及各类型框等。

5）刀位轨迹创建容易，只要指定零件几何体与毛坯集合体，即可生成刀轨。

3.2　型腔铣加工几何体

“型腔铣”几何体对话框如图 3-2 所示。“型腔铣”加工几何主要包括“指定部件”、“指定毛坯”、“指定检查”、“指定切削区域”和“指定修剪边界”等，下面逐一介绍。



图 3-2 “型腔铣”对话框

3.2.1　指定部件

“指定部件”用于表示被加工零件的几何形状，是系统计算刀轨的重要依据。它控制刀具运动范围，如图 3-3 所示。

单击“几何体”组框中“指定部件”选项后的“选择或编辑部件几何体”按钮，弹出“部件几何体”对话框，如图 3-4 所示。利用该对话框，可在图形区选择需要加工的零件。

“部件几何体”对话框中的相关选项含义如下。

（1）操作模式　用于设置选择对象的方式，当用户至少选取一个几何对象后有效，包括以下 2 个选项：

1）【附加】：表明当前处于添加状态，可以继续增加几何对象。

2）【编辑】：表明当前处于编辑状态，可以开始编辑已经定义的加工几何对象。

（2）选择选项　用于设置选择对象的过滤方式，包括以下三个选项：

1）【几何体】：指定一般几何对象，包括实体、面、面和曲线、曲线等，该选项是最常用的过滤方式。

2）【特征】：选择曲面区域，该选项目前很少使用。

3）【小平面】：选择小平面体，常用于从其他系统导入工件。

（3）选择按钮

1）【全选】：单击该按钮，选择过滤器设定的所有几何对象。

2）【移除】：单击该按钮，移除用户指定的几何对象。

3）【展开项】：如果当前对象是一个复合片体或实心体，单击该按钮，使对象分解为许多表面。

4）【全重选】：单击该按钮，将所有已选取的几何对象放弃，以便重新选取。

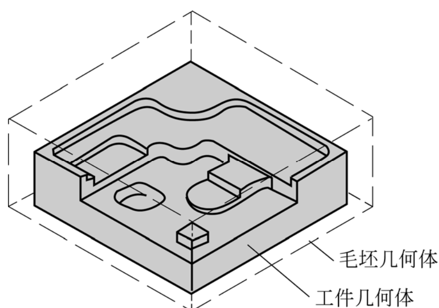


图 3-3 部件几何和毛坯几何



图 3-4 “部件几何体”对话框

3.2.2 指定毛坯

“指定毛坯”用于表示被加工零件毛坯的几何形状，是系统计算刀轨的重要依据。

单击图 3-3“几何体”组框中“指定毛坯”选项后的“选择或编辑毛坯几何体”按钮，弹出“毛坯几何体”对话框。在“过滤方式”下拉列表中选择合适的过滤方法，然后在图形区选择需要加工零件的毛坯，单击“确定”按钮，完成“指定毛坯”的创建。

3.2.3 指定检查

“指定检查”用于指定不允许刀具切削的部位，例如夹具零件，如图 3-5 所示。单击“几何体”组框中“指定检查”选项后的“选择或编辑检查几何体”按

钮，在弹出的“检查几何体”对话框中选择加工零件的检查体，单击“确定”按钮，完成“检查几何”的创建。

3.2.4　指定切削区域

“指定切削区域”是通过选择表面、片体或者曲面区域定义切削的区域，常用于创建固定轴铣或可变轴铣操作中，如图 3-6 所示。在选择切削区域时，可不必讲究区域各部分选择的顺序，但切削区域中的每个成员必须包含在已选择的零件几何中。

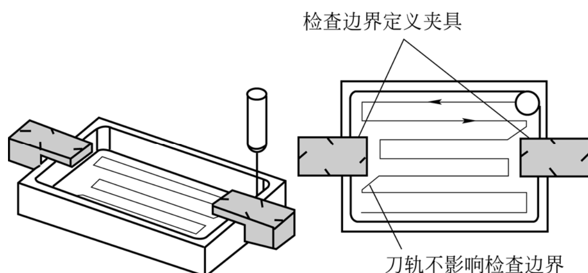


图 3-5 “指定检查”示意图

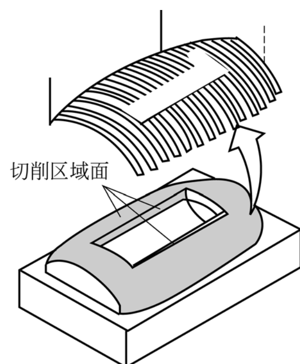


图 3-6 “指定切削区域”示意图

3.2.5　指定修剪边界

“指定修剪边界”在整个刀轨涉及的切削范围的某一区域不希望被切削时使用，修剪边界通过指定刀具路径在修剪区域的内或外来限制整个切削范围，如图 3-7 所示。

单击“几何体”组框中“指定修剪边界”选项后的“选择或编辑修剪边界”按钮，在弹出的“修剪边界”对话框中选择修剪边界的范围，最后单击“确定”按钮，完成“修剪边界”的创建。

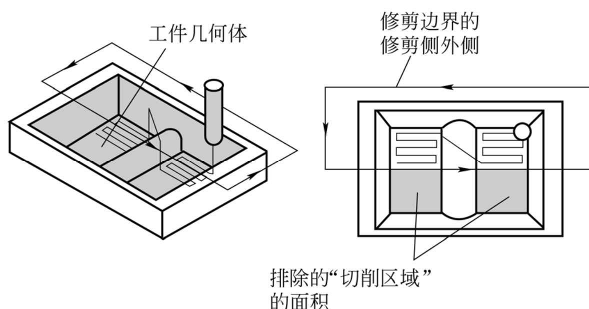


图 3-7 “指定修剪边界”示意图

3.3 型腔铣高速加工操作参数

型腔铣操作部分参数与平面铣含义基本相同，但是也存在细微差异，下面具体叙述。

3.3.1 切削模式

“刀轨设置”组框中的“切削模式”选项用于决定加工切削区域刀具路径的走刀方式。下面介绍型腔铣中常用的切削方式。

1. **往复式走刀**（Zig-Zag）

往复式走刀用于产生一系列平行连续的线性往复刀轨，是最经济省时的切削方法。但该方式会产生一系列的交替“顺铣”和“逆铣”，特别适于粗铣加工。

如果没有指定切削区域起点，那么第一个单向刀路将尽可能地从周边边界的起点处开始切削。系统将保持线性往复切削，但允许刀具在限定的步距内跟随切削区域轮廓，以保持连续的切削运动，如图 3-8 所示。最后一条往复刀路偏离了直线方向，而跟随切削区域的形状，以保持连续的切削刀轨。只要刀路不相交，系统便可允许刀轨沿往复刀路跟随切削区域轮廓。

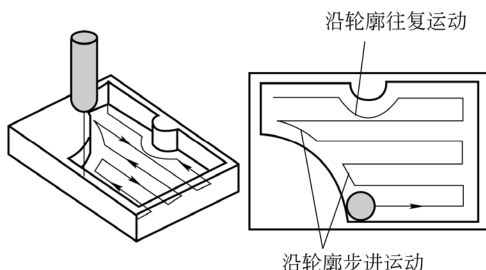


图 3-8 往复走刀沿轮廓往复运动

往复刀路只能从直线刀轨中偏离小于步距值的距离，如果刀路不相交，往复刀路便无法跟随切削区域轮廓，那么系统将生成一系列较短的刀路，并在子区域间移刀进行切削，如图 3-9 所示。

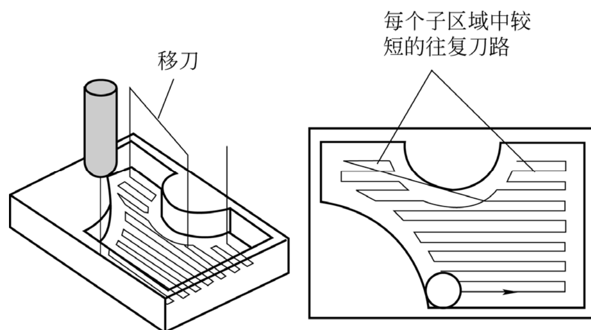


图 3-9 往复走刀子区域往复刀路

2．单向走刀（Zig）

单向走刀用于产生一系列单向的平行线性刀轨，相邻两个刀具路径之间都是顺铣或逆铣，如图 3-10 所示。

与往复走刀类似，单向生成的刀路将跟随切削区域的轮廓，但前提是刀路不相交。如果单向刀路不相交，便无法跟随切削区域，那么系统将生成一系列较短的刀路，并在子区域间移刀进行切削。

3．单向轮廓铣

单向轮廓铣用于产生一系列单向的平行线性刀轨。在横向进给时，刀具直接沿切削区域轮廓切削。单向轮廓能够始终严格保持单纯的顺铣或逆铣，如图 3-11 所示的顺铣加工。

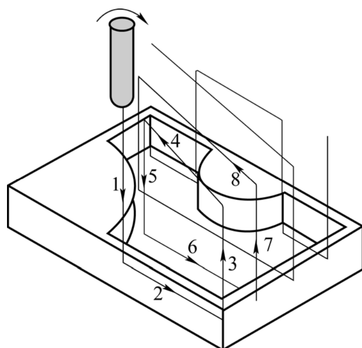


图 3-10 “单向走刀”示意图

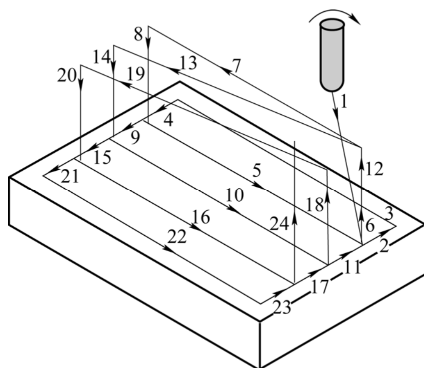


图 3-11 “单向轮廓铣”示意图

单向刀路也跟随切削区域的轮廓，前提是轮廓不会导致刀路相交。如果存在相交刀路，使得单向刀路无法跟随切削区域的轮廓，那么系统将生成一系列较短的刀路，并在子区域间移刀进行切削，如图 3-12 所示。

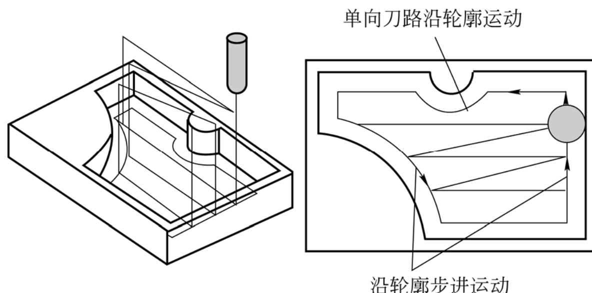


图 3-12　单向刀路沿轮廓运动

4．跟随周边

跟随周边用于产生一系列同心封闭的环形刀轨，这些刀轨的形状是通过偏移

切削区的外轮廓获得的，可加工区域内的所有刀路都封闭，如图 3-13 所示。

跟随周边刀轨不会互相交叉，在某个区域比另一个区域需要更多的腔体加工刀路的情况下，刀具会在子区域之间移刀，以完成较大的区域，如图 3-14 所示。如果需要多次移刀，则可以使用区域连接来优化刀具运动。

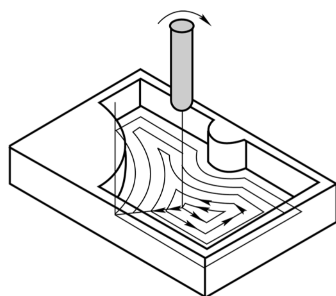


图 3-13 “跟随周边”示意图

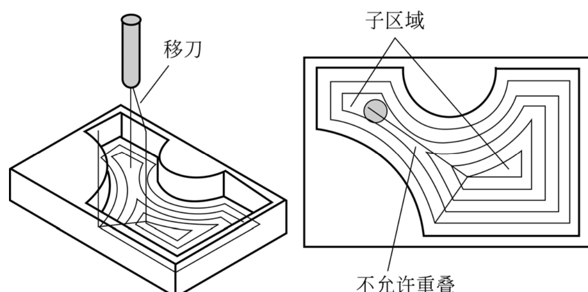


图 3-14 子区域之间移刀

使用“图样方向”可指定由外朝内，还是由内朝外。使用“向内”腔体方向时，离切削模式中心最近的刀具一侧将确定“顺铣”或“逆铣”如图 3-15a 所示；使用“向外”腔体方向时，离切削区域边缘最近的刀具一侧将确定“顺铣”或“逆铣”，如图 3-15b 所示。

 **提示**

由于跟随周边的刀轨不能仿形岛屿，为了保证岛屿侧面的加工质量，可以附加绕岛屿的刀轨，因此需要选择切削参数中的“岛清理”选项，用于在岛屿部增加附加绕岛屿的刀轨。

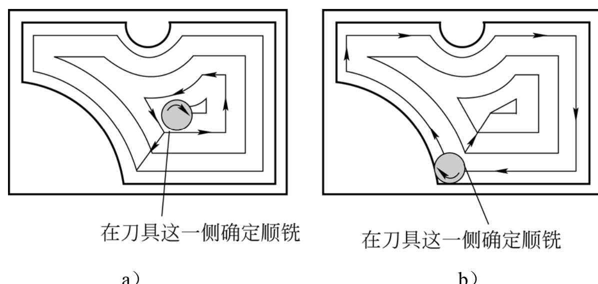


图 3-15 “跟随周边”的顺铣和逆铣

a）使用“向内”腔体方向 b）使用“向外”腔体方向

5. 跟随部件

跟随部件用于根据所指定的零件几何产生一系列同心线来创建切削刀具路径，可加工区域内的所有刀路都将是封闭形状，如图 3-16 所示。

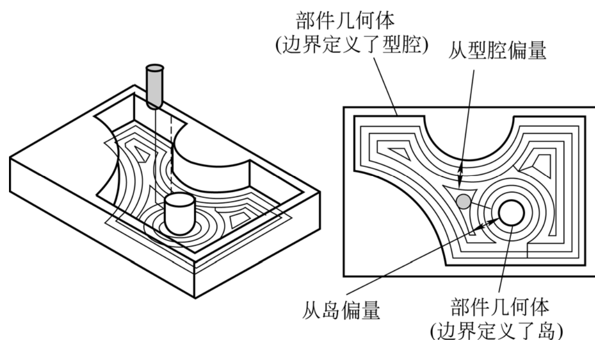


图 3-16 “跟随部件”示意图

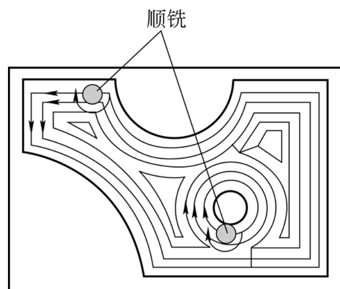


图 3-17 “保持顺铣”示意图

在带有岛的型腔区域中使用“跟随部件”，从而不需要使用带有“岛清理”的“跟随周边”方式。“跟随部件”将保证在不设置任何切换的情况下完整切削整个部件几何体，如图 3-17 所示。

6. **摆线**

摆线用于将刀具沿着摆线轨迹运动，如图 3-18 所示。当需要限制刀具因过大的横向进给而产生破坏，且需要避免过量切削材料时，可采用“摆线”方式。在进刀过程中的岛和部件之间、形成锐角的内拐角以及窄区域中，几乎总是会得到内嵌区域。摆线切削可消除这些区域。刀具以小的回环切削模式来加工材料，也就是说，刀在以回环切削模式移动的同时也在旋转。

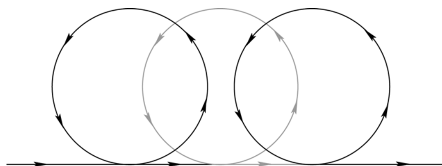


图 3-18 “摆线”示意图

向外摆线切削通常从远离部件壁处开始，向部件壁方向行进，常用的选项参数含义如下：

1）【摆线宽度】：在刀轨中心线处测量的摆线圆的直径。该值最好不超过刀具直径，系统默认为刀具直径的 60%。

2）【最小摆线宽度】：用于指定摆线圆的最小直径。最大值小于摆线宽度，系统默认为刀具直径的 20%。

3）【步距限制%】：用于输入实际步距可超过指定的步距的最大数量。最小值为 100%，最大值为 200%，系统默认为 150%。

4）【摆线向前步长】：摆线圆沿刀轨相互间隔的距离值。最大值要小于步距，默认为刀具直径的 40%。

对于硬铣削，步距大约为 10%。推荐的摆线设置为：步距限制=指定步距的 150%；摆线向前步长=刀轨步距的 80%～100%；摆线宽度=步距的 1.5 倍。

对于简单槽，推荐值为：步距限制=指定步距的 150%；摆线向前步长=刀轨步距；摆线宽度=槽加工区域的宽度、刀轨步距。

7．轮廓

轮廓切削产生单一或指定数量的绕切削区轮廓的刀轨，目的是实现侧面的精加工，如图 3-19 所示。

可以通过在“附加刀路”选项指定一个值来创建附加刀路，以允许刀具向部件几何体移动，并以连续的同心切削方式移除壁面上的材料，如图 3-20 所示。

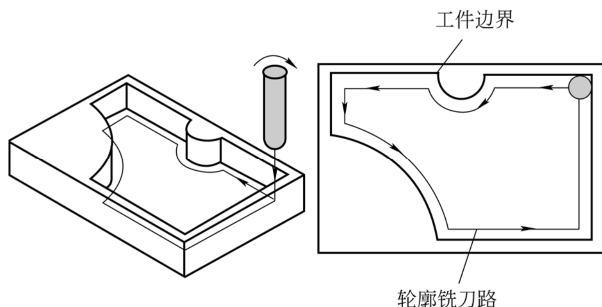


图 3-19 “轮廓”示意图

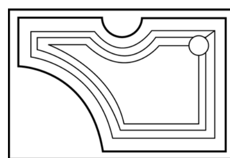


图 3-20 “附加刀路”选项



提示

高速加工优先使用环绕进给方式，可以保持顺铣切削，并且产生全刀切削的距离最短，因而属于优先选择的进给方式，如“跟随部件”。

3.3.2 切削步长

切削步长是关系到刀具切削负荷、加工效率和零件表面质量的重要参数。常用的步进方式有“恒定”、“残余高度”、“刀具平直”和“多个”四种，下面分别介绍。

1）【恒定】：指定相邻两刀切削路径之间的横向距离为常量。如果指定的距离不能将切削区域均匀分开，系统自动缩小指定的距离值，并保持恒定不变，如图 3-21 所示。

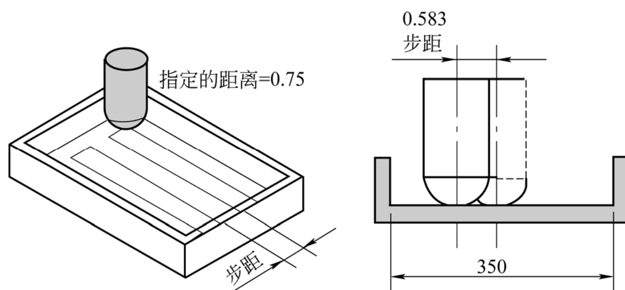


图 3-21 “恒定”步长示意图

2）【残余高度】：指定相邻两刀切削路径刀痕间的残余面积高度值，以便系统自动计算横向距离值。系统应保证残余材料高度不超过指定的值，如图 3-22 所示。

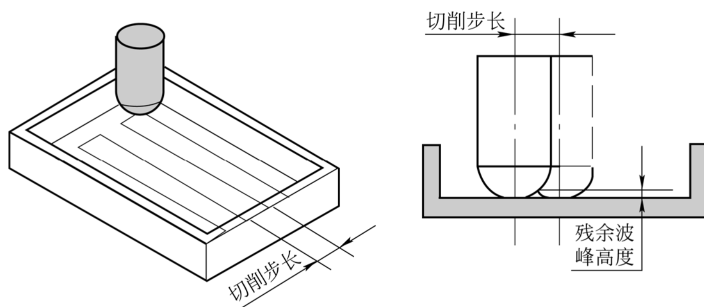


图 3-22 “残余高度”示意图

3）【刀具平直】：用刀具直径乘“百分比”的积作为切削步距值。如果加工长度不能被切削步长等分，则系统将减少切削步长，并保持一个常数。对于球头铣刀，系统将其整个直径用作有效刀具直径；对于其他刀具，“有效刀具直径”按 D-2CR 计算，如图 3-23 所示。

4）【多个】：指定相邻两刀具路径的最大和最小横向距离值，系统自动确定实际使用的步长。不同的切削模式可变的选项不同，下面分别加以介绍。

①〖往复、单向和单向轮廓〗：在“往复、单向和单向轮廓”创建步距，可输入“最大值”和“最小值”，系统将使用该值来确定步距大小和最少步距数量。这些步距可将平行于单向和回转刀路的壁面间的距离均匀分割，同时系统还将调整步距，以保证刀具始终沿着壁面进行切削而不会剩下多余的材料。如图 3-24 所示，用户指定的“最大值”是 0.50，“最小值”是 0.25。系统计算得出八个步距为 0.363 的刀路，该步距值可保证刀具在切削时相切于所有平行于单向和回转切削的壁面。

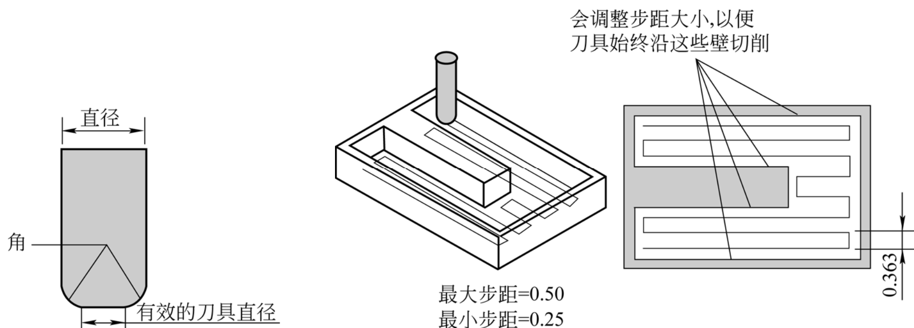


图 3-23　有效刀具直径　　图 3-24　往复铣削中的可变步距

如果为最大和最小步距指定相同的值，系统将严格地生成一个固定步距值，

这可能导致刀具在沿平行于单向和回转切削的壁面进行切削时留下未切削的材料，如图 3-25 所示。

②〖跟随周边、跟随部件、轮廓铣和标准驱动〗：对于“跟随周边、跟随部件、轮廓铣和标准驱动”模式，用户可分别指定多个步距大小以及每个步距大小所对应的刀路数量。先输入的部分始终对应于距离边界最近的刀路，后输入的部分将逐渐向腔体的中心移动，如图 3-26 所示。

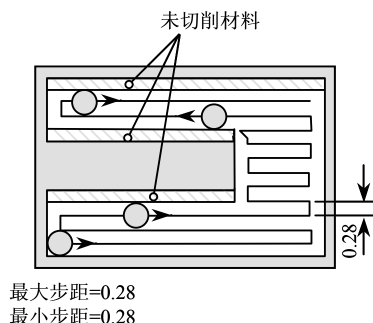


图 3-25 相同的最大和最小值

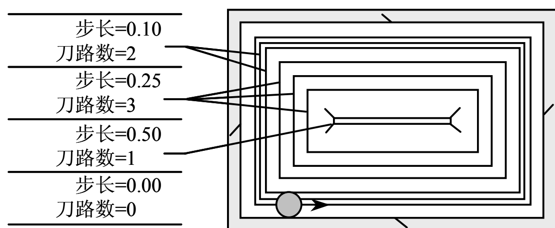


图 3-26 跟随周边的可变步距一

当组合的步长和刀路数超出或无法填满要加工的区域时，系统将从切削区域的中心减去或添加一些刀路。如图 3-27 所示，组合的步长和刀路数超出了腔体的大小，系统将保留指定的距边界最近的两个刀路，但将减少腔体中心处的刀路（从指定的 10 个减少到 5 个）。

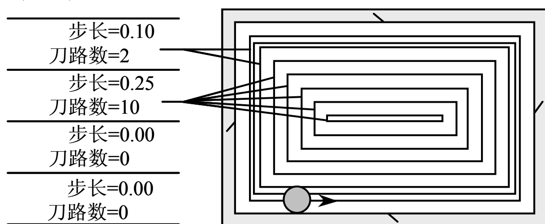


图 3-27 跟随周边的可变步距二


提示

通常在高速铣加工中，要指定更小的切削步距，以便保持恒定的刀具切削载荷，一般为刀具直径的 10%。

3.3.3 切削层

单击“刀轨设置”组框中的“切削层”按钮，弹出“切削层”对话框，如图 3-28 所示。

“型腔铣”操作中，将总切削深度划分为多个切削范围，同一范围内的切削层深度相同，不同范围内的切削层深度可以不同，如图 3-29 所示。



图 3-28 “切削层”对话框

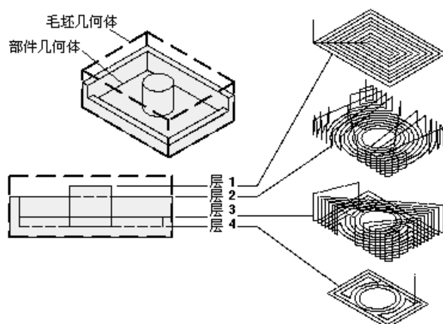


图 3-29　切削层示意图

对于“型腔铣”，最高范围的默认上限是部件、毛坯或切削区域几何体的最高点。如果在定义“切削区域”时没有使用毛坯，那么默认上限将是切削区域的最高点；如果切削区域不具有深度（例如为水平面），并且没有指定毛坯，那么默认的切削范围上限将是部件的顶部。定义“切削区域”后，最低范围的默认下限将是切削区域的底部；当没有定义“切削区域”时，最低范围的下限将是部件或毛坯几何体的底部最低点。

在“切削层”对话框中，相关选项参数含义如下。

（1）范围类型

1）【自动生成】：将范围设置为与任何水平表面对齐，只要没有添加或修改局部范围，切削层将保持与工件的关联性。系统将自动检测工件上的新的水平表面，并添加关键层与之匹配，如图 3-30 所示。

2）【用户定义】：用户自行定义每个范围。

3）【单一】：将根据工件和毛坯几何体设置一个切削范围，如图 3-31 所示。

（2）全局每刀深度　当添加范围时，全局每刀深度是默认值。该值将影响自动生成或单个模式中所有切削范围的每一刀的最大深度。对于用户定义模式，如果所有范围都具有相同的初始值，那么“全局每刀深度”将应用在所有这些范围中。

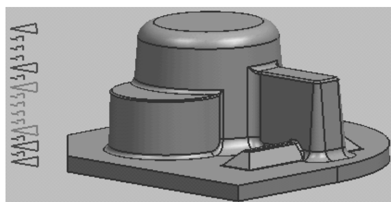


图 3-30 自动生成切削范围

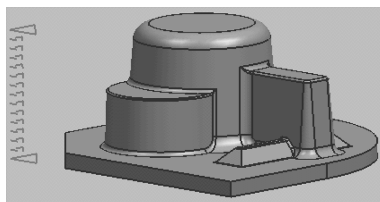


图 3-31 单一范围示意图

在计算刀轨时，系统根据指定的“全局每刀深度”的大小，计算出不超过指定值的相等深度的各切削层。当指定的全局每刀深度值为 0.25 时，系统将根据不同的背吃刀量计算出不同大小的全局每刀深度值，如图 3-32 所示。

（3）切削层

1）【恒定】：将切削深度保持在全局每刀深度值。

2）【仅在底部范围处切削】：如果希望仅在底部范围处切削，请打开此选项，那么切削范围不会再被细分。需要注意的是，打开此选项，将使每一刀的全局深度选项处于非活动状态。

（4）切削区域的编辑

1）【向上、向下】按钮：如果只有一个范围，它就是当前切削范围；如果有多个切削范围，只有一个是当前范围，可使用向上/向下箭头选择一个范围，然后添加、编辑或删除切削范围。

2）【插入】按钮：单击该按钮，可添加新的切削范围于当前范围之下。创建范围的步骤如下：单击“插入”按钮，选择一个点、一个面，或输入“范围深度”值来定义新范围的底面，如有必要，可输入新的“每一刀的局部深度”值；所创建的范围将从该平面向上延伸至上一个范围的底面，如果新创建的范围之上没有其他范围，该范围将延伸至顶层。如果选定了一个面，系统将使用该面上的最高点来定位新范围的底面，该范围将保持与该面的关联性；如果修改或删除了该面，将相应地调整或删除该范围。选择“确定”按钮，接受新的范围并关闭对话框。

3）【测量开始位置】：定义测量范围深度值的方式，包括以下选项：

①〖顶层〗：从第一刀切削范围的顶部引用范围深度。

②〖范围顶部〗：从当前高亮显示的范围的顶部引用范围深度。

③〖范围底部〗：从当前高亮显示的范围的底部引用范围深度，也可使用滑尺来修改范围底部的位置。

④〖WCS 原点〗：从 WCS 原点引用范围深度。

4）【局部每刀深度】：局部每刀深度与全局每刀深度类似，但前者的值将影响单个范围中的每一刀的最大深度。通过为每个范围指定不同的每一刀的深度，可以创建如图 3-33 所示的切削层，即在某些区域内每个切削层将切削下

较多的材料，而在另一些区域内每个切削层只切削下较少的材料。“范围 1”使用了较大的每一刀的局部深度 *A* 值，从而可以快速地切削材料；“范围 2”使用了较小的每一刀的局部深度 *B* 值，以便逐渐移除靠近倒圆轮廓处的材料。

切削深度的选择确定原则：越陡峭的面越可以允许较大的切削层深度，越接近于水平的面切削层深度应该越小，目的是保证加工后残余材料高度均匀，以保证加工精度。

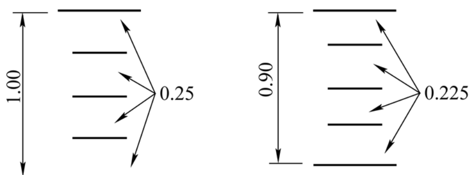


图 3-32　全局每刀深度示意图

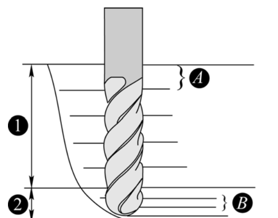


图 3-33　指定不同的切削范围

3.3.4　切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框。该对话框中的相关参数与“平面铣”基本相同，限于篇幅，下面仅介绍不同选项的含义。

1.**“策略”选项卡**

单击“切削参数”对话框中“策略”选项卡，如图 3-34 所示。

1）【在边上延伸】：使用“在边上延伸”来加工工件周围多余的铸件材料。刀路将以相切的方式在切削区域的所有外部边缘上向外延伸，如图 3-35 所示。

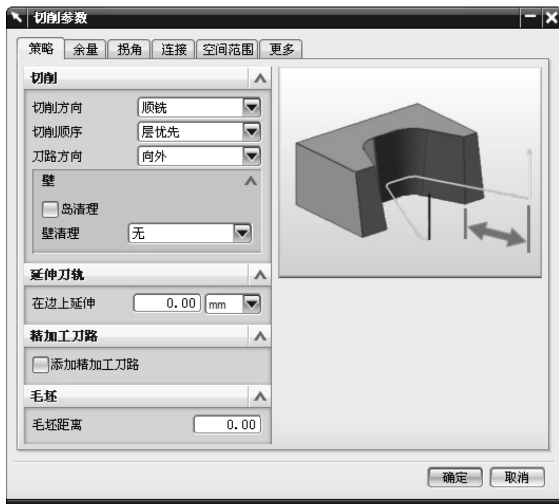


图 3-34 “策略”选项卡

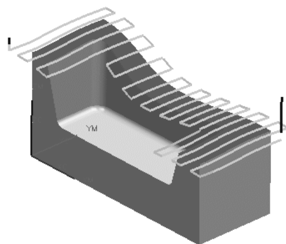


图 3-35　在边上延伸示意图

2）【切削顺序】：切削顺序是“平面铣”、“型腔铣”和“深度铣”操作中的公共参数，指定如何处理含有多个区域和多个层的刀轨。“层优先”在继续向下进刀之前精加工各层，该选项可用于加工薄壁腔体；“深度优先”在移至下一个腔体之前将每个腔体切削至最大深度，如图 3-36 所示。

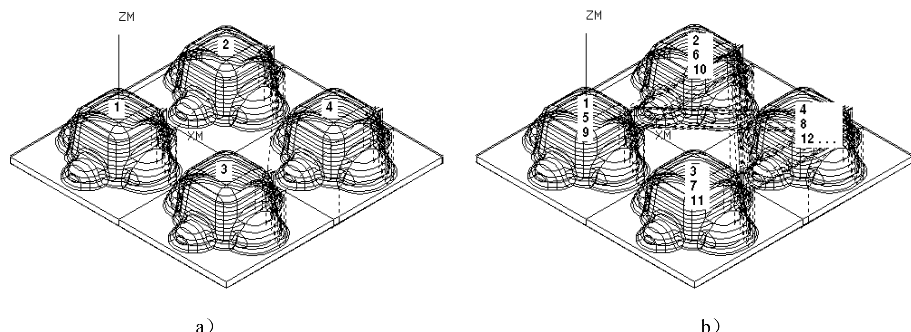


图 3-36　切削顺序

a）深度优先　b）层优先

2. “余量”选项卡

单击“切削参数”对话框中的“余量”选项卡，如图 3-37 所示。

“部件侧面余量”和“部件底部面余量”用于替换“型腔铣”的部件余量，它们的含义如下：

1）【部件侧面余量】：部件侧面余量指定壁面剩余的材料量，它是在每个切削层上沿垂直于刀轴的方向（水平）测量的。它可应用在所有能够进行水平测量的部件表面上（平面、非平面、竖直、倾斜等），如图 3-20 所示。

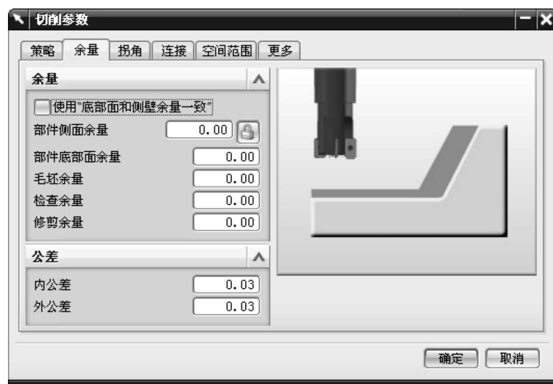


图 3-37　“余量”选项卡

2）【部件底部面余量】：部件底部面余量指定底部面剩余的材料量，它是沿刀轴竖直方向测量的。部件底部面余量仅应用于满足以下条件的部件表面：用于定义

切削层、表面为平面、表面垂直于刀轴（曲面法矢量平行于刀轴），如图 3-38 所示。

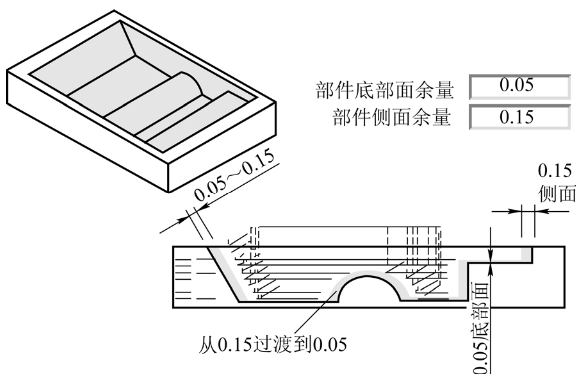


图 3-38　底部面和侧面余量示意图

斜面的零件余量在零件底面与零件侧面余量之间变化，曲面零件余量在零件底面与零件侧面余量之间变化。勾选“使用底部面和侧壁余量一致”复选框，可将二者的数值设置为相等。

3．“空间范围”选项卡

单击“切削参数”对话框中的“空间范围”选项卡，如图 3-39 所示。

1）【修剪由】：在没有明确定义“毛坯几何体”的情况下，识别出型心部件的“毛坯几何体”。当“容错加工”关闭时，有“无”和“外部边”两个选项；当选中“容错加工”时，有“无”和“轮廓线”两个选项。

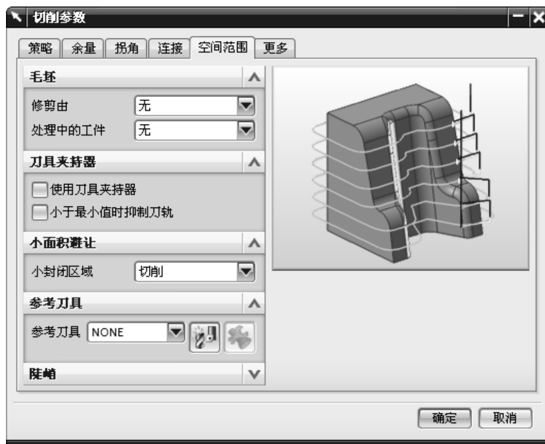


图 3-39　“空间范围”选项卡

① 〖无〗：关闭“修剪由”选项。

② 〖外部边〗：（容错加工关闭）使用面、片体或曲面区域的外部边在每个切削层中生成刀轨，方法是沿边缘定位刀具，并将刀具向外偏置，偏置值为刀具的

半径；而这些定义“部件几何体”的面、片体或曲面区域与定义“部件几何体”的其他边缘不相邻，如图 3-40 所示。

③〖轮廓线〗：（容错加工打开）使用部件几何体的轮廓来生成刀轨（与“外部边”不同，其中可包含“体”几何体），方法是沿部件几何体的轮廓定位刀具，并将刀具向外偏置，偏置值为刀具的半径，如图 3-41 所示。

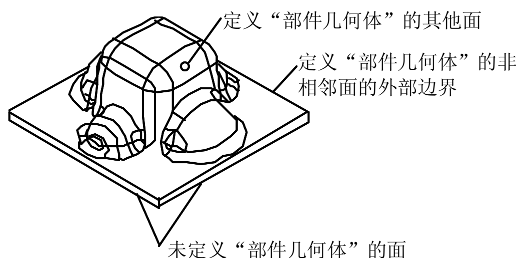


图 3-40　外部边示意图

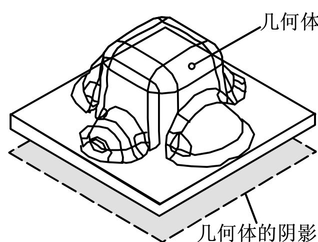


图 3-41　轮廓线示意图

2）【处理中的工件】：处理中的工件就是 In Process Workpiece（IPW）。该组框用于设置在切削加工中，当前“型腔铣”操作是否使用上一个操作加工后形成的 IPW 作为毛坯。

①〖无〗：使用现有的毛坯几何体（如果有），或切削整个型腔。

②〖使用 3D〗：在同一几何体组中，使用先前操作的 3D IPW 几何体。例如如果用户的“型腔铣”操作跟随在一个“曲面轮廓铣”的后面，那么就必须使用“使用 3D”。

③〖使用基于层〗：在同一几何体组中，使用先前型腔铣和深度加工操作的切削区域。在设计上，只有当需要使用来自其他基于层的处理器的材料时，才使用基于层的 IPW。由于这个假定条件，因此它比 3D IPW 更快，通常也更规则。当前，它仅可用于型腔铣。

3）【使用刀具夹持器】：用于打开刀柄。当选中该选项时，有助于避免刀柄与工件的碰撞，并在操作中选择尽可能短的刀具。

4）【参考刀具】：要加工上一个刀具未加工到的拐角中剩余的材料时，可使用参考刀具。如果是刀具拐角半径的原因，则剩余材料会在壁和底部面之间；如果是刀具直径的原因，则剩余材料会在壁之间。在选择了参考刀具的情况下，操作的刀轨与其他型腔铣或深度加工操作相似，但是会仅限制在拐角区域。

5）【IPW 碰撞检查】：选中“使用刀具夹持器”时可用。当选中该选项时，系统将首先检查刀柄是否会与处理中的工件、毛坯几何体、部件几何体或检查几何体发生碰撞。如果系统检测到刀柄与工件发生碰撞，则不会切削发生碰撞的区域。

4.“更多”选项卡

单击“切削参数”对话框中的“更多”选项卡，如图 3-42 所示。



图 3-42　“更多”选项卡

【容错加工】：对于大多数铣削操作，都应将“容错加工”（用于型腔铣）方法打开。它是一种可靠的算法，能够找到正确的可加工区域而不过切部件。

3.3.5　进给和速度

单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给和速度”对话框，如图 3-43 所示。通过该对话框，用户可确定主轴转速或每齿进给量。

1）【表面速度（smm）】：刀刃的线速度，它在各个齿的切削边处测量，测量单位是 smm（m/min）。

2）【每齿进给】：每齿进给，测量单位是 mm（毫米）。

3）【主轴速度（rpm）】：主轴转速，单位是 rpm（r/min）。

4）【切削】：设置正常切削状态的进给速度，即进给量。根据经验或铣削工艺手册提供的数值或由系统自动计算。

5）【快进】：设置快进速度，即从刀具的初始点（From Point）到下一个前进点（Goto Point）的移动速度。如果快进速度为 0，则在刀具位置源文件中自动插入一个 Rapid 命令，后置处理器将产生 G00 快进指令。



图 3-43　“进给和速度”对话框

6）【逼近】：设置接近速度，即从刀具的起刀点（Start Point）到进刀点（Engage Point）的进给速度。在平面铣和型腔铣中进行多层切削时，接近速度控制刀具从一

个切削层到下一个切削层的移动速度。在表面轮廓铣中，接近速度是刀具进入切削前的进给速度。一般接近速度可比快速速度小些，如果接近速度为 0，系统将使用“快速”进给速度。

7）【进刀】：设置进刀速度，即从刀具进刀点到初始切削位置刀具运动的进给速度。如果进刀速度为 0，系统将使用“切削”进给速度。

8）【第一刀切削】：设置第一刀切削的进给速度。考虑到毛坯表面的硬度，一般它要比进刀速度小一些，如果第一刀切削为 0，系统将使用“切削”进给速度。

9）【单步执行】：设置刀具移向下一平行刀轨时的进给速度。如果提刀跨过，系统将使用“快速”进给速度；如果步进取为 0，系统将使用“切削”进给速度，通常可设“步进”与“切削”进给速度相等。

10）【移刀】：设置刀具从一个切削区转移到另一个切削区作水平非切削运动时刀具的移动速度。刀具在跨越移动时，首先提升到安全平面，然后横向移动，主要是防止刀具在移动过程中与工件相碰。

11）【退刀】：设置刀具的退刀速度，即刀具从最终切削位置到退刀点之间的刀具移动速度。如果退刀为 0，若是线性退刀，系统将使用“快进”进给速度；若是圆弧退刀，系统使用“切削”进给速度。

12）【离开】：设置离开速度，即刀具从加工部位退出时的移动速度。在钻孔和车槽时，分离速度影响表面粗糙度。

13）【设置非切削单位】：设置所有非切削运动速度的单位，包括“无（系统自动计算）”、“mmpm（mm/min）”和“mmpr（mm/r）”三种。

14）【设置切削单位】：设置所有切削运动速度的单位，包括“无（系统自动计算）”、“mmpm（mm/min）”和“mmpr（mm/r）”三种。

3.3.6 机床控制

“机床控制”用于指定机床事件，例如刀具更改、开始和结束事件（为用户定义的），或者特殊的后处理命令，以及项控制运动输出的类型，如图 3-44 所示。

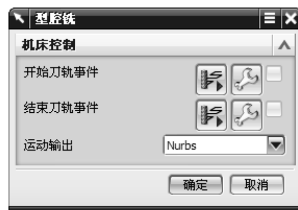


图 3-44 “机床控制”选项卡

1．**开始刀轨事件和结束刀轨事件**

用于用户定义开始和结束刀轨时输入后处理的命令。

2．**运动输出**

用于控制刀具路径的生成方式，包括以下选项：

（1）仅线性　生成的刀具路径全部由直线走刀组成，不存在圆弧走刀，在圆角处的圆弧走刀则由多条直线走刀逼近。因而在刀具位置源文件（CLSF）中只有 Goto 语句，没有 Circle 语句。在后置处理程序中也只能见到 G01 语句，而没有 G02 和 G03 语句。

（2）圆弧-垂直于刀轴　在垂直于刀轴平面内，刀具运动尽可能由圆弧走刀组成，系统可将一系列直线走刀用一个圆弧走刀近似替代。刀具路径段为直线或不垂直于刀轴的曲线时，刀具运动是直线走刀；刀具路径段为曲线且垂直于刀轴时，刀具运动由圆弧走刀近似替代。因而在刀具位置源文件（CLSF）和后置处理程序中，既可能有直线走刀语句，也可能有圆弧走刀语句。

（3）圆弧-垂直/平行于刀轴　在垂直于或平行于刀轴平面内，刀具运动尽可能由圆弧走刀组成，系统可将一系列直线走刀用一个圆弧走刀近似替代。因而在刀具位置源文件（CLSF）和后置处理程序中，既可能有直线走刀语句，也可能有圆弧走刀语句。

（4）Nurbs　系统使刀具尽可能沿着 B 样条曲线移动，而不是沿近似的直线圆弧移动。刀具路径段为直线时，刀具运动是直线走刀；刀具路径段为曲线时，刀具运动由 B 样条走刀近似替代。因此在刀具位置源文件（CLSF）和后置处理程序中，既可能有直线走刀语句，也可能有 B 样条走刀语句，但是无圆弧走刀语句。当用五坐标高速加工光顺精度要求高的表面时，应该选择该方式。

在 UG NX 7.0 中如果选择 Nurbs 选项后，系统弹出“Nurbs 运动”对话框，如图 3-45 所示。用于设置分段的 Nurbs 曲线是否连接成一条曲线，以及是否用角度公差和拟合公差控制曲线连接的光滑程度。



图 3-45　“Nurbs 运动”对话框

1）【连接分段】：“连接分段”可决定单独的曲线段是否合并在一起形成一条曲线，以便构成每个切削刀路的单个 Nurbs，如图 3-46 所示。

2）【角度公差】：当选中“连接分段”时，“角度公差”可用。该选项允许决定在构成 Nurbs 的连接曲线之间所形成的哪些角度将被光顺。小于或等于指定“角度公差”的角度将被光顺处理，大于指定“角度公差”的角度将不进行光顺处理。要获得可靠的结果，应使用小于等于 5º 的角度公差，如图 3-47 所示。

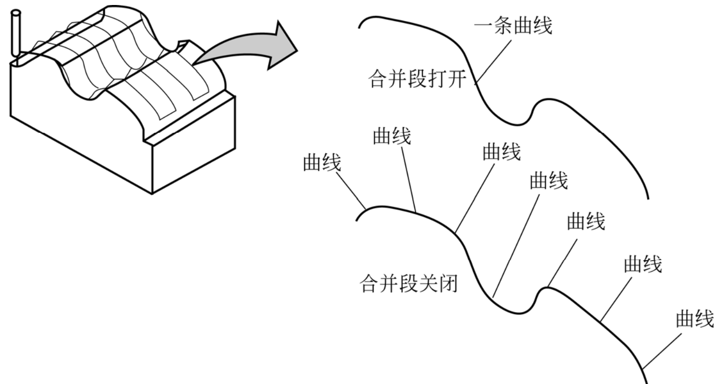


图 3-46　连接分段

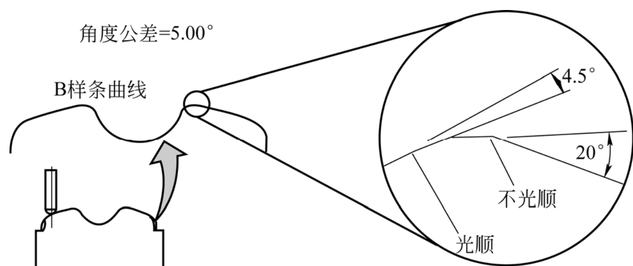


图 3-47 小于指定角度公差的角度将被光顺处理

3）【拟合控制公差】：“拟合控制公差”与“角度公差”结合使用。指定的拟合控制公差决定了应用到角度的光顺程度。拟合控制公差越大，曲线之间的圆角就越光顺，如图 3-48 所示。

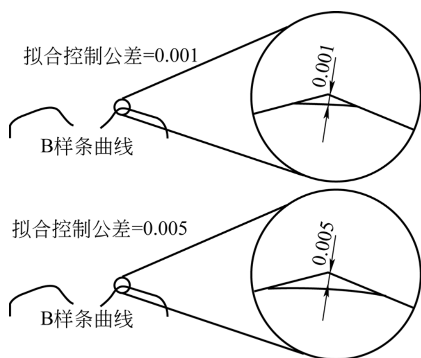
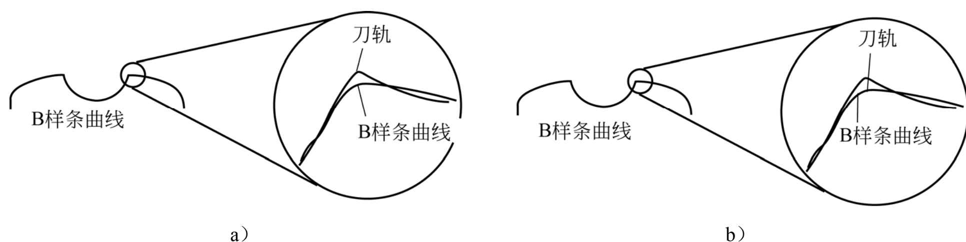


图 3-48 更大的拟合控制公差可形成更光顺的圆角

除了决定应用到角度的光顺程度之外，拟合控制公差还可决定刀轨跟随 Nurbs 的准确程度。更严格的公差（通过更小的值定义）会使刀轨更准确地跟随 Nurbs，如图 3-49 所示。



a） b）

图 3-49 松的和紧的拟合控制公差
a）松拟合控制公差 b）紧拟合控制公差

3.3.7 非切削移动

在 UG NX7.0 中单击“刀轨设置”组框中的“非切削移动”按钮，弹出“非切削移动”对话框，用于可设置相关非切削运动参数。

1.“进刀”选项卡

单击“非切削移动”对话框中的“进刀”选项卡，如图 3-50 所示。用户可设置刀具进刀的运动方式。

“进刀”选项卡包括两个组框：“封闭区域”和“开放区域”。封闭区域是指刀具到达当前切削层之前必须切入材料中的区域，开放区域是指刀具在当前切削

层可以凌空进入的区域。

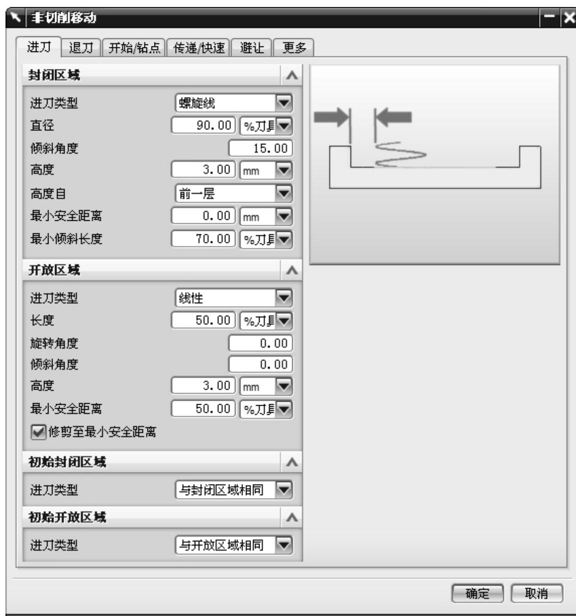


图 3-50　“进刀”选项卡

1）【封闭区域】：“封闭区域”组框的“进刀类型”有“与开放区域相同”、“螺旋线”、“沿形状斜进刀”、“插铣”和“无”五种。

①〖与开放区域相同〗：处理封闭区域的方式与开放区域类似，且使用开放区域移动定义。

②〖螺旋线〗：螺旋线将创建与第一个切削运动相切的、无碰撞的螺旋状进刀移动，用于“跟随周边”和“跟随工件”切削方式中，如图 3-51 所示。使用“最小安全距离”，可避免使用部件/检查几何体。如果无法满足螺旋线移动的要求，则替换为具有相同参数的倾斜移动。

a．直径：用刀具直径的百分比表示最大螺旋刀轨直径，如图 3-52 所示。螺旋线的默认直径是刀具直径的 90%，以允许螺旋线与刀具有 10%的重叠，可防止在螺旋线中央留下一根立柱。

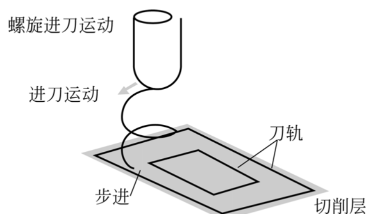


图 3-51　螺旋进刀类型

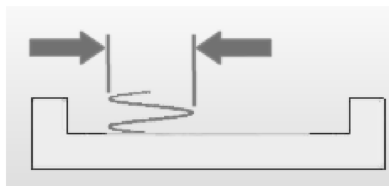


图 3-52　“直径”示意图

b．倾斜角度：指定进刀轨迹的斜角。斜角在垂直于零件表面内测量，范围为 0～90º，如图 3-53 所示。

c．高度：指定要在切削层的上方开始进刀的距离，如图 3-54 所示。

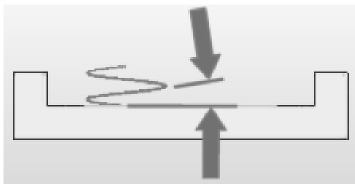


图 3-53 “倾斜角度”示意图

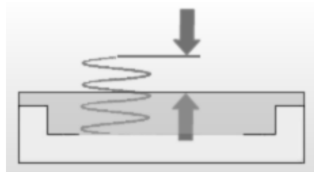


图 3-54 “高度”示意图

d．最小安全距离：用于设定进刀轨迹与工件的侧面之间的距离，防止刀具在接近工件时发生撞刀，如图 3-55 所示。

e．最小倾斜长度：用刀具直径的百分比表示的刀具从斜坡的顶部到底部的最小刀轨距离。为了防止在没有中心刃的铣刀加工时斜式或螺旋进刀运动距离太小，造成刀具中心与工件材料的冲突，最小倾斜长度按照下式计算：2×刀具直径–2×刀片宽度。

③〖沿形状斜进刀〗：进刀轨迹沿刀具轴投影到层的刀轨平面内，刚好与刀轨重合，如图 3-56 所示。用于“跟随周边”和“跟随工件”切削方式中，相关参数与“螺旋”参数基本相同。

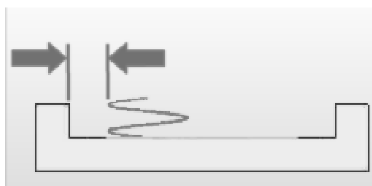


图 3-55 “最小安全距离”示意图

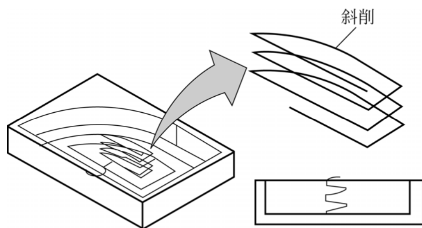
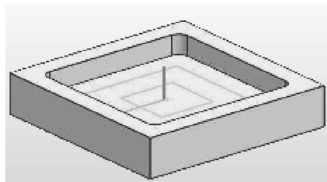


图 3-56　沿形状斜进刀

④〖插铣〗：插铣将直接从指定的高度进刀到部件内部，如图 3-57 所示。需要注意的是，其高度值必须大于要加工的面上剩余材料的量。



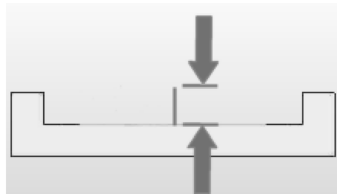


图 3-57　插铣进刀方式

⑤〖无〗：将不输出任何进刀移动，这消除了在刀轨起点的相应逼近移动，并消除了在刀轨终点的离开移动。

2）【开放区域】：刀具在开放区域的“进刀类型”包括以下选项：

①〖与封闭区域相同〗：开放区域的进刀方式与封闭区域的进刀方式相同。

②〖线性〗：刀具将沿直线进刀，如图 3-58 所示。

③〖线性-相对于切削〗：创建与刀轨相切（如果可行）的线性进刀移动。与“线性”不同的是，“旋转角度”是始终相对于切削方向的。

④〖圆弧〗：创建一个与切削运动起点相切的圆弧进刀移动，如图 3-59 所示。

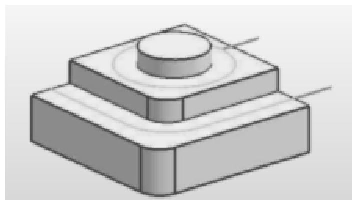


图 3-58　线性进刀方式

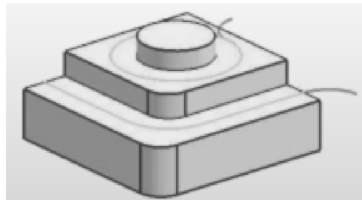


图 3-59　圆弧进刀方式

⑤〖点〗：将通过选择的点来控制进刀路径，如图 3-60 所示。

⑥〖线性-沿矢量〗：通过一矢量方向作为进刀方向，刀具沿指定方向直线进刀，如图 3-61 所示。

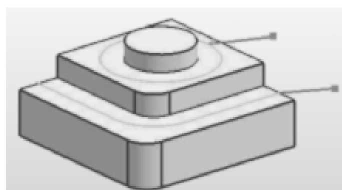


图 3-60　点进刀方式

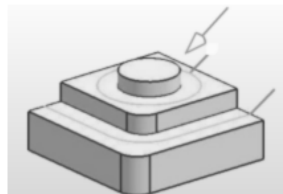


图 3-61　线性-沿矢量进刀方式

⑦〖角度 角度 平面〗：用两个角和一个平面来指定进刀移动。角度可确定进刀运动的方向，平面可确定进刀起点，如图 3-62 所示。

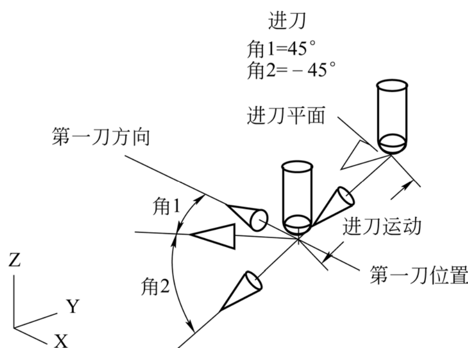


图 3-62 “角度 角度 平面”进刀方式

⑧〖矢量平面〗：通过一个矢量和一个平面来指定进刀运动。矢量确定进刀运动的方向，平面确定进刀起始点，如图 3-63 所示。

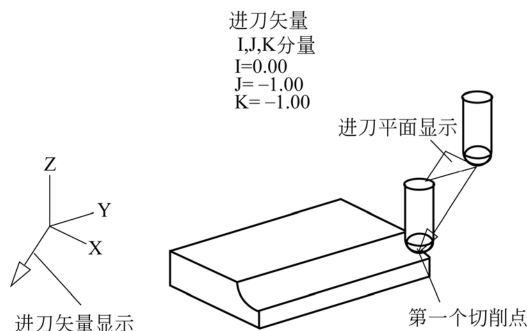


图 3-63 矢量平面

⑨〖无〗：不创建进刀移动。进刀移动（如果需要）直接与切削移动相连。

3）【初始封闭区域】：控制刀具初始移动到第一个封闭区域切削区域/层的进刀运动。

4）【初始开放区域】：控制刀具初始移动到第一个开放区域切削区域/层的进刀运动。


提示

高速加工采用带有低平斜坡角度的螺旋进刀运动，以避免刀具突然接触工件产生加工振动，影响加工质量。

2．“退刀”选项卡

单击“非切削移动”对话框中的“退刀”选项卡，如图 3-64 所示。用户可设置刀具退刀的运动方式。

1）【退刀】：用于设置从切削层的切削刀轨的最后一点到退刀点之间的运动，它以退刀速度进给。“退刀”参数与“进刀”选项卡基本相同，只是多了一项“抬刀”选项。“抬刀”将指定在切削运动结束时的竖直退刀，可在“高度”文本框中输入抬刀的高度，如图 3-65 所示。

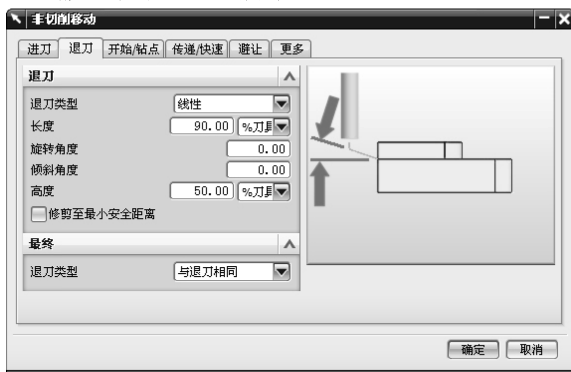
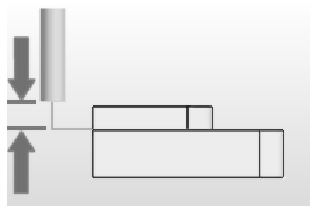


图 3-64 “退刀”选项卡


图 3-65 “抬刀”退刀类型

2）【最终】：控制刀具在每个切削区的最后一层切削刀轨结束处的退刀点及其退刀运动。

3．“开始/钻点”选项卡

单击“非切削移动”对话框中的“开始/钻点”选项卡，如图 3-66 所示。



图 3-66 “开始/钻点”选项卡

1）【重叠距离】：指定切削结束点和起点的重合深度，将确保在进刀和退刀移动处进行完全清理。如图 3-67 所示，刀轨在切削刀轨原始起点的两侧同等地重叠（下面的距离 *A*）。无论何时使用“自动”进刀和退刀移动，都会实施重叠。

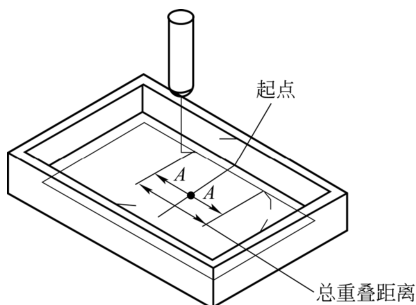


图 3-67 进刀和退刀的重叠距离

2）【区域起点】：平面铣是由多层 2 轴刀轨构成，每一切削区的每层切削刀轨都有一个起始点，称为切削区域起始点。切削区域起始点位置可以由系统自动决定，也可以由用户决定。实际切削区域起始点一般并不会刚好在用户定义的切削区域起始点位置，但系统会根据切削区域形状等因素决定一个最接近用户定义的起始点的位置，作为实际切削区域刀轨起始点，因此切削区域的起始点位置只需要大致指定即可。在图 3-68 中，系统使用定制起点 *A* 来定义切削层 1 的进刀位置，使用定制起点 *B* 来定义切削层 2 和 3 的进刀位置。因为刀具不能精确定位到点 *A* 和点 *B*，所以系统将每个区域的进刀位置定义为与最近的区域起点尽可能接近。

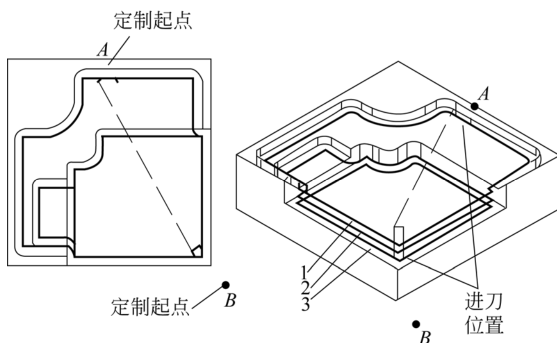


图 3-68 “区域起点”轮廓切削模式

“默认区域起点”有以下两个选项：

①〖中点（默认）〗：从封闭边界的中点开始。

②〖角〗：从指定边界的起点开始。

3）【预钻孔点】：在平面铣挖槽加工中，经常是在整块实心毛坯上铣削。在铣削之前，可在毛坯上位于每个切削区的适当位置预先钻一个孔，用于铣削时进刀。所定义的预钻孔点沿着刀轴投影到用来定位刀具的“安全平面”上，形成刀具的进刀点。切削时，刀具在安全平面开始沿刀具轴方向对准预钻孔点进刀，到达某切削层的位置，然后直接以切削进给速度水平移动到切削层刀轨的起始点开始此层的切削，如图 3-69 所示。

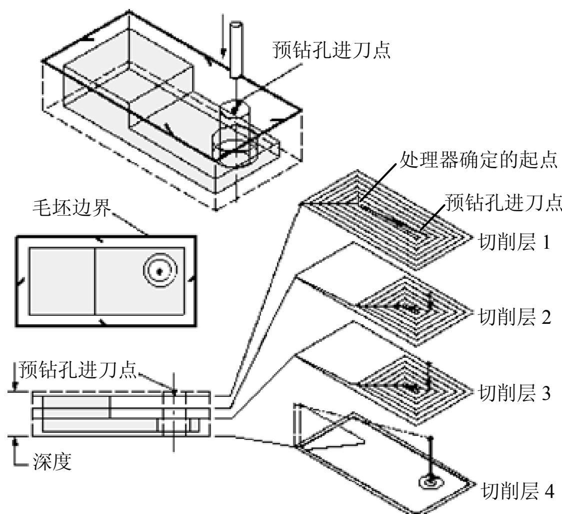


图 3-69 预钻孔点示意图

“有效距离”选项用于设置预钻孔点的切削深度范围，具体包括以下两个选项：

①〖指定〗：用于指定预钻孔点的切削深度范围，指定了深度后，预钻孔进刀点只在深度范围内起作用。

② 〖无〗：预钻孔点将用于每一个切削层。

4．“传递/快速”选项卡

单击“非切削移动”对话框中的“传递/快速”选项卡，如图 3-70 所示。用户可设置安全平面、刀具在不同切削区域之间、刀具在相同切削区域的运动方式。



图 3-70　“传递/快速”选项卡

1）【间隙】：“安全设置选项”是刀具在接近工件的过程中保持到工件表面的安全参数。从这个位置开始到切削刀轨起始点之间，从接近速度转化为进刀速度进给，以防止刀具在接近工件时发生撞刀。“安全设置选项”组框包括以下四个选项：

① 〖使用继承的〗：使用在机床坐标系 MCS 中设置的安全平面。

② 〖无〗：不使用安全平面。

③ 〖自动〗：从工件上表面开始，向上在“安全距离”文本框所设定距离处进行安全设置。

④ 〖平面〗：安全平面是指定离工件一定距离处定义一个平面。该平面不仅可以控制刀具的非切削运动，而且还可以避免刀具在工件上移动时与工件相碰。

2）【区域之间】：“区域之间”控制添加以清除不同切削区域（部件上不同区域）之间障碍的退刀、传递和进刀，传递方式是刀具从一个切削区转移到下一个切削区的运动。如果可能，刀具的横越路线绕过岛屿和侧面；如果不行，刀具从一个区的提刀点提升到用于在此指定的平面高度处作横越运动，到达下一个区的进刀点的上方，然后从平面处朝进刀点（或切削起始点）移动。其“传递类型”包括以下五种：

① 〖间隙〗：采用“间隙”组框中的“安全设置”选项，通常为“安全平面”方式，刀具在安全平面或垂直安全距离的高度上作横越运动，如图 3-71 所示。

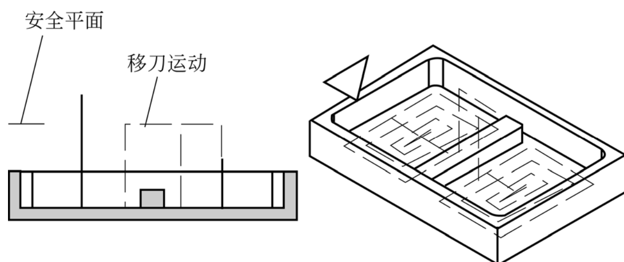


图 3-71 “间隙”移刀方式

②〖前一平面〗：刀具完成一个切削层的切削后，提升到上一切削层的高度作横越运动。无论如何，如果可能与零件干涉的话，刀具必须提升到安全平面或毛坯顶面的高度作横越运动，如图 3-72 所示。

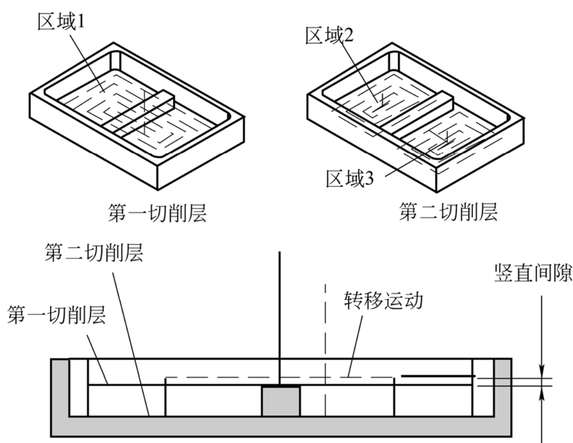


图 3-72 “前一平面”移刀方式

③〖直接〗：刀具从当前位置直接移动到下一区的进刀点，如果没有定义进刀点，就是切削起始点，如图 3-73 所示。该方式不考虑与零件几何体的干涉，因此可能撞刀，必须小心使用。

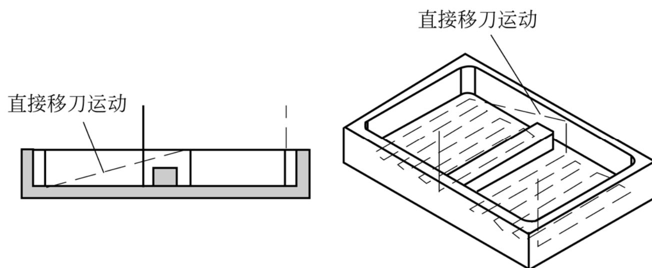


图 3-73 “直接”移刀方式

④〖最小安全值 Z〗：通过指定最小的距离设置横越运动的高度。如果该高度

值小于需要，系统自动使用“前一平面”作为传递方式。此方式优于“直接”和“前一平面”，兼顾了效率和安全。

⑤〖毛坯平面〗：在“平面铣”中，毛坯平面是指定的部件边界和毛坯边界中最高的平面；在“型腔铣”中，毛坯平面是指定的切削层中最高的平面。刀具提升到毛坯平面横越，比提升到安全平面提升高度更有利于提高效率，如图 3-74 所示。

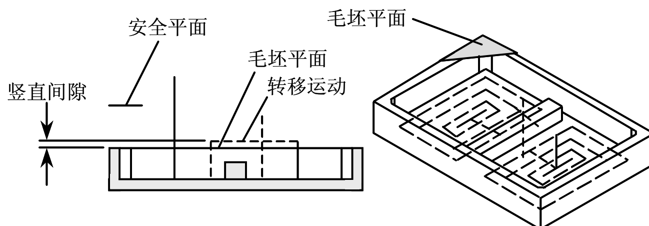


图 3-74 “毛坯平面”移刀方式

3）【区域内】：“区域内”控制添加以清除切削区域内或切削特征层之间材料的退刀、传递和进刀，包括以下选项：

①〖传递使用〗：指定使用传递的方式，包括“无”、“进刀/退刀”和“抬刀/插铣”三种。

a.〖进刀/退刀（默认）〗：使用默认的进刀/退刀定义。

b.〖抬刀/插削〗：以竖直移动进刀和退刀。

c.〖无〗：不在区域内添加进刀或退刀移动。

②〖传递类型〗：用于控制传递的位置参数，相关参数的含义与“区域之间”基本相同。

4）【初始的和最终的】：控制操作的初始移动到第一切削区域/层，并使操作的最终移动远离最后一个切削位置。

①〖逼近类型〗：到第一切削层操作的初始移动遵循逼近传递顺序，包括以下选项：

a.【间隙】：从“间隙”组框指定的安全平面移动到进刀点。

b.【相对平面】：定义了一个平面，逼近移动从这一平面移动到进刀点。

c.【无】：不添加初始逼近移动。

②〖离开类型〗：操作的最终移动遵循离开传递顺序，包括以下选项：

a.【间隙】：从退刀点移动到“间隙”组框指定的安全平面。

b.【相对平面】：定义了一个平面，“离开”从退刀点移动到该平面。

c.【无】：不添加最终离开移动。

5.“避让”选项卡

单击“非切削移动”对话框中的“避让”选项卡，可进行避让设置，如

图 3-75 所示。

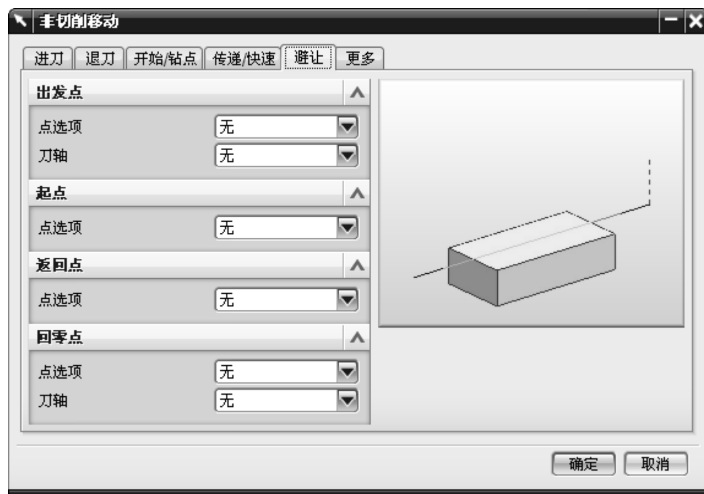


图 3-75 “避让”选项卡

“避让”选项是控制刀具在切削前和切削后的非切削运动的位置，由“出发点”、“起点”、“返回点”和“回零点”组成。但在一般情况下，只需定义“出发点”和“回零点”，即可以防止刀具干涉工件。

1）【出发点】：“出发点”用于指定刀具在开始运动前的刀具初始位置。如果没有指定出发点，系统把刀具第一加工运动的起刀点作为刀具的初始点。

2）【起点】：起点是刀具运动的第一个目标点。如果定义了初始点，刀具以直线运动方式从出发点快速移动到起点；如果还定义了安全平面，则由起刀点竖直向上，在安全平面上取一点，刀具以直线运动方式从出发点快速移动到该点，然后从该点快速移动到起点。

3）【返回点】：返回点是指离开零件时的运动目标点。当完成切削移动后，刀具以直线运动方式从最后切削点或退刀点快速移动到返回点。如果定义了安全平面，由最后切削点或退刀点竖直向上，在安全平面上取一点，刀具以直线运动方式从最后切削点或退刀点快速移动到该点。返回点应该设置在安全平面之上。

4）【回零点（停止点）】：回零点是刀具最后停止位置。常用出发点作为回零点，刀具以直线方向从返回点快速移动到回零点，包括“无”、“与起点相同”、“回零-没有点”和“指定”四种。

6. “更多”选项卡

单击“非切削移动”对话框中的“更多”选项卡，用户可设置刀具补偿方式，如图 3-76 所示。

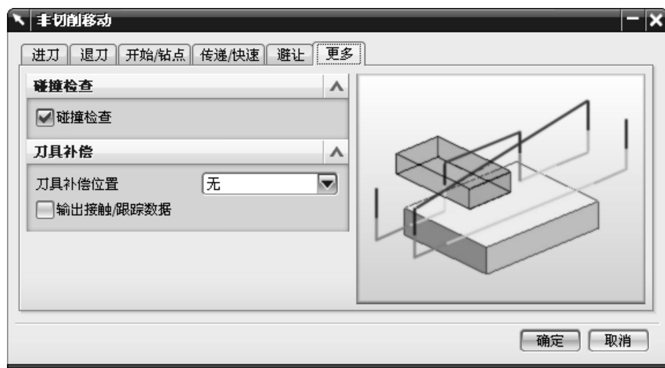


图 3-76 “更多”选项卡

1）【碰撞检查】：勾选“碰撞检查”复选框，可检测与部件几何体的碰撞。如果原移动过切，则可避免碰撞；如果不能进行无过切移刀运动，则会发出警告。

2）【刀具补偿】：指定何处应用刀具补偿。“刀具补偿位置”包括以下选项：

①〖无〗：在任何刀轨路径中均不进行刀具补偿。

②〖所有精加工刀路〗：在所有的精加工刀具路径上均进行刀具补偿。

③〖最终精加工刀路〗：仅在最终精加工刀具路径上进行刀具补偿。

3.4　本章小结

本章详细介绍了型腔铣加工几何和型腔铣加工参数。读者在学习时，注意比较它和平面铣的异同之处：平面铣一般使用边界来定义“部件”材料，型腔铣则使用边界、面、曲线和体来定义“部件”材料；平面铣用于切削具有竖直壁的部件以及垂直于刀轴的平面岛和底部面，型腔铣用于切削具有带锥度的壁以及轮廓底部面的部件。

第 4 章　UG NX 7.0 曲面轮廓铣高速加工

曲面轮廓铣加工是指对由轮廓曲面形成的区域进行精加工。用户通过精确控制刀轴和投影矢量，使刀轨沿着非常复杂的曲面的复杂轮廓移动，从而实现对零件表面进行加工。本章对曲面轮廓铣驱动方法和操作参数进行详细的介绍。

4.1　曲面轮廓铣加工原理

用户建立固定轴曲面轮廓铣，首先需要指定驱动几何和零件几何。系统将驱动几何上的驱动点沿刀轴方向投影到零件的几何表面上，然后沿指定的投影矢量将其投影到部件表面上，如图 4-1 所示。

刀具将定位到部件表面上的接触点，当刀具在部件上从一个接触点移动到另一个时，可使用刀尖的“输出刀具位置点”来创建刀轨，如图 4-2 所示。

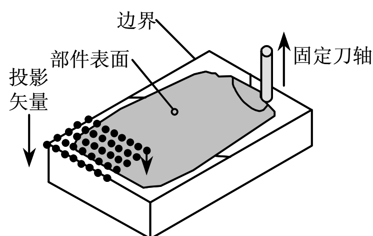


图 4-1　边界驱动点的投影

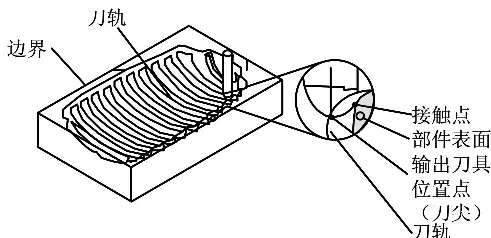


图 4-2　边界驱动方法的刀轨

4.2　曲面轮廓铣驱动方法

“驱动方法”用于定义创建刀轨所需的驱动点，不同的驱动方法将以不同的形式创建驱动点。曲面轮廓铣包括固定轮廓铣和可变轮廓铣两种，其中 UG NX7.0 固定轮廓铣有 10 种驱动方法，如图 4-3 所示。UG NX7.0 可变轮廓铣驱动方式与固定轮廓铣大体相同，不同的是可变轮廓铣没有“区域铣削”和“清根”驱动方法，如图 4-4 所示。



图 4-3　固定轮廓铣驱动方法



图 4-4　可变轮廓铣驱动方法

下面对曲面轮廓铣驱动方法进行系统的叙述。

4.2.1　曲线/点驱动方法

1．曲线/点驱动方法简介

曲线/点驱动方法通过指定点或选择曲线来定义驱动几何，刀具跟随驱动几何走刀生成刀轨。

（1）点驱动方法　指定点作为驱动几何时，驱动路径为指定点之间指定顺序的直线段。如图 4-5 所示，顺序选择 1、2、3、4 四个驱动点，从指定的第一点开始，沿指定顺序依次以直线连接生成驱动路径，并沿投影矢量的方向投影到部件几何体的表面生成刀具轨迹。同一点可以指定多次，如可以通过将同一个点定义为序列中的第一点和最后一点，从而形成封闭的驱动路径。

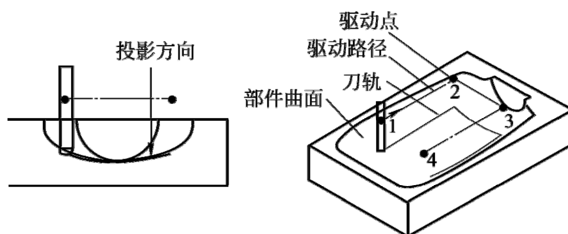


图 4-5　点驱动方法
1～4—驱动点

（2）曲线驱动方法　选择曲线作为驱动几何，驱动点沿指定曲线生成，所选曲线可以是封闭的，也可以是连续的。刀具沿驱动曲线移动，投影到部件几何上生成刀轨，如图 4-6 所示。

选择点或曲线作为驱动几何后，会在图形窗口中显示一个矢量方向，表示默认的切削方向。对于开口曲线，靠近选择的曲线的端点是刀具路径开始点；对于封闭曲线，开始点和切削方向由选择段的次序决定。在曲线与点的方法中，有时可以使

用负的余量值，以便于刀具切削到被选部件几何表面的里面，如图 4-7 所示。

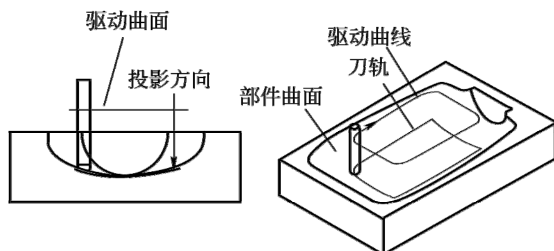


图 4-6　曲线驱动方式

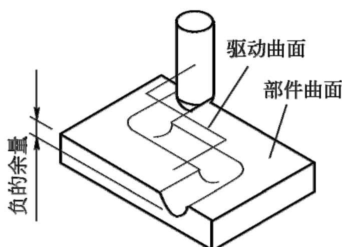


图 4-7 “负部件余量”示意图

2. **曲线/点驱动参数**

在“驱动方法”组框中“方法”下拉列表中选择“曲线/点”选项，弹出“曲线/点驱动方法”对话框，如图 4-8 所示。

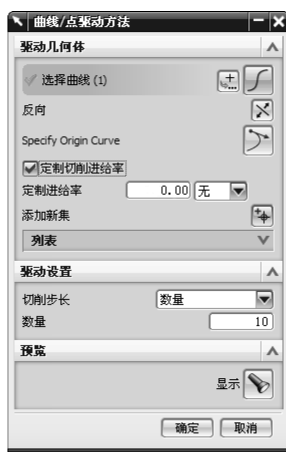


图 4-8 “曲线/点驱动方法”对话框

“曲线/点驱动方法”对话框用于设置驱动几何和相关的参数，各参数含义如下。

（1）驱动几何体

1)【选择曲线】：用于定义“曲线/点驱动方式”的驱动几何体。单击“点构造器”按钮，弹出“点”对话框，可选择或创建点作为驱动几何体；单击“曲线”按钮，可选择曲线作为驱动几何体。

2)【反向】：单击“反向”按钮，反转活动驱动集的方向。

3)【定制切削进给率】：自定义进给速率，即为每一驱动组或驱动点指定进给速率和进给速率单位。在指定时，首先在“列表”框中选择驱动组，然后勾选“定制切削速率”复选框，并在“定制进给率”文本框中输入速率值。不连续曲线或点之间的连接线处的进给率为下一条曲线或点的进给率，如图 4-9 所示。

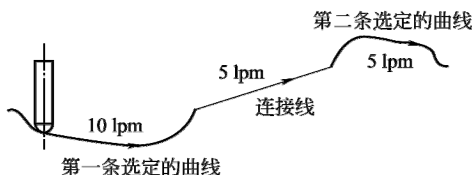


图 4-9 “定制切削速率”示意图

4)【列表】：列表显示指定的驱动集，并允许删除不需要的集。通过使用“上移”和“下移”箭头，可以更改驱动集在列表中的次序。

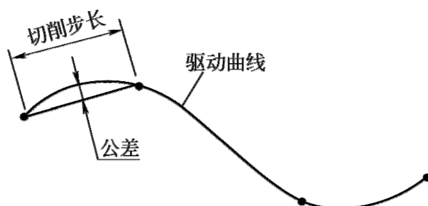


图 4-10 公差定义切削步长

（2）驱动设置 “切削步长”用于控制沿驱动曲线两驱动点之间的距离，驱动点之间越靠近，则刀轨越光顺，包括以下两个选项。

1）【公差】：用于指定驱动曲线之间允许的最大垂直距离和两个连续点间直线的延伸度，如图 4-10 所示。当法向距离不超过指定的公差值时，则生成“驱动点”。

2）【数量】：通过设置沿驱动曲线生成的驱动点的最小数目来控制切削步长。输入的数值越大，生成的驱动点越多；反之，生成的驱动点越少。如果指定的驱动点数目较少，系统会自动生成一些驱动点，以使刀轨按照指定的“工件表面内公差/外公差”值沿着“工件表面轮廓”移动，以保证工件表面内公差/外公差的加工要求。

（3）预览 单击“显示”按钮，显示用于构成刀具轨迹的驱动路径。

4.2.2 螺旋式驱动方法

螺旋式驱动方法用于从指定的中心点向外创建螺旋状的“驱动点”。驱动点在垂直于投影矢量并包含中心点的平面上创建，然后“驱动点”沿着投影矢量投影到所选择的部件表面上，如图 4-11 所示。

在“驱动方法”组框中“方法”下拉列表中选择“螺旋式”选项，弹出“螺旋式驱动方法”对话框，如图 4-12 所示。其选项意义说明如下。

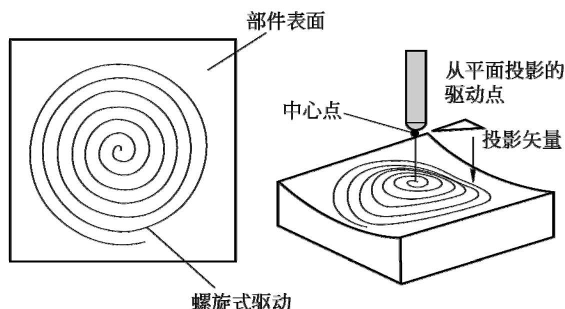


图 4-11 螺旋式驱动方法



图 4-12 “螺旋式驱动方法”对话框

（1）驱动设置

1）【指定点】：用于指定螺旋线的中心，它是刀具开始切削的位置。如果不指定中心点，则系统使用“绝对坐标系”的（0，0，0）；如果“中心点”不在“部件表面”上，它将沿着已定义的“投影矢量”移动到“部件表面”上。单击“点构造器”按钮，弹出“点”对话框，可选择点作为螺旋中心点。

2）【最大螺旋半径】：用于定义螺旋线半径的最大值，通过指定“最大螺旋

半径”来限制要加工的区域。最大螺旋半径在垂直于“投影矢量”的平面上测量，如图 4-13 所示。

3）【步距】：用于指定连续切削刀路之间的距离，如图 4-14 所示。步距的设置方式包括“恒定”和“刀具直径”两种。

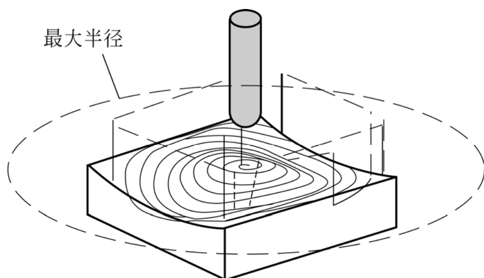


图 4-13　最大螺旋半径示意图

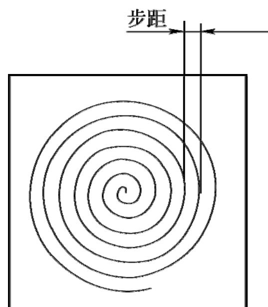


图 4-14　螺旋式驱动的步距

①〖恒定〗：在连续的切削刀路间指定固定距离，此选项类似于“平面铣”和“型腔铣”中的“恒定”选项。

②〖%刀具直径〗：根据有效刀具直径的百分比定义步距，此选项类似于“平面铣”中的“刀具直径”选项。

4）【切削方向】：用于根据主轴旋转定义“驱动轨迹”切削的方向，包括“顺铣”和“逆铣”两种。

（2）预览　单击“显示”按钮，显示用于构成刀具轨迹的驱动路径。驱动路径将会在垂直于“投影矢量”并包含“螺旋中心点”的平面上显示出来。

4.2.3　边界驱动方法

边界驱动方法是通过指定“边界”和“环”定义切削区域。“环”必须与外部“工件表面”边缘相对应，而“边界”与“工件表面”的形状和大小无关，切削区域由“边界”、“环”或二者的组合定义。将已定义的切削区域的“驱动点”按照指定的“投影矢量”的方向投影到“工件表面”，这样就可以生成“刀轨”，如图 4-15 所示。

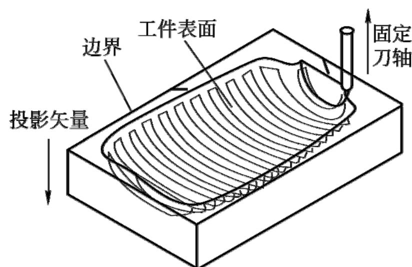


图 4-15　边界驱动方法

1. **边界驱动方法简介**

“边界驱动方法”与“平面铣”的工作方式大致上相同，但是与“平面铣”不同的是，“边界驱动方法”可用来创建允许刀具沿着复杂表面轮廓移动的精加工

操作。同时，“边界驱动方法”可创建包含在某一区域内的“驱动点”阵列。在边界内定义“驱动点”，一般比选择驱动曲面更为快捷和方便。但是，使用“边界驱动方法”时，不能控制刀轴或相对于驱动曲面的投影矢量。平面边界不能缠绕复杂的部件表面，从而导致未切削区域的存在，如图 4-16 所示。

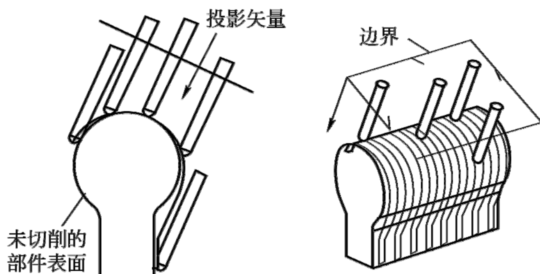


图 4-16　将驱动点投影到部件表面时产生未切削区域

2. 边界驱动参数

在“驱动方法”组框中的“方法”下拉列表中选择“边界”选项，单击其后的“编辑”按钮，弹出“边界驱动方法”对话框，如图 4-17 所示。

（1）驱动几何体　用于定义和编辑“驱动几何体”的边界，通常由一系列曲线和现有的永久边界、点或面构成，用来定义切削区域以及岛和腔的外形。

单击“驱动几何体”组框“指定驱动几何体”选项后的“选择或编辑驱动几何体”按钮，弹出“边界几何体”对话框，如图 4-18 所示。利用该对话框，可选择驱动边界。

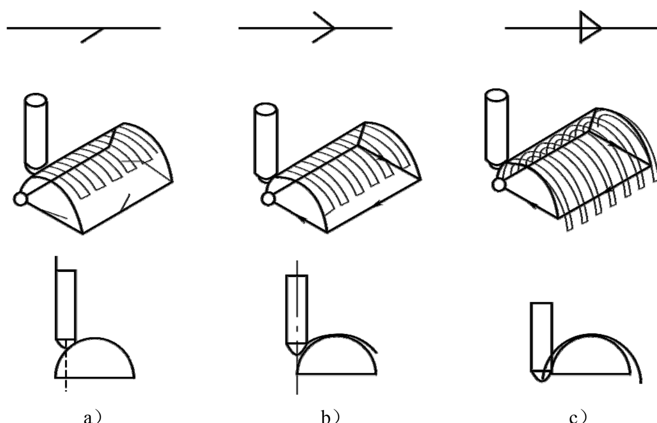


图 4-17　“边界驱动方法”对话框



图 4-18　“边界几何体”对话框

选择曲线或边缘定义边界时，针对边界的每一个成员，必须定义刀具的接触位置选项，包括“在上面”、“相切于”或“接触”，如图 4-19 所示。



a）　b）　c）

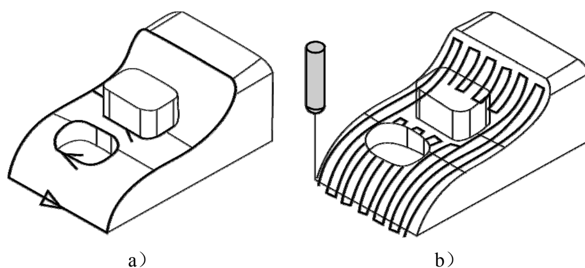
图 4-19　刀具位置方式

a）相切于　b）在上面　c）接触

（2）公差　边界内公差与外公差用于指定刀具偏离实际边界的最大距离。公差值越小，刀具路径偏离距离越小，切削越精确，但系统计算时间越长。

（3）偏置　通过指定偏置值来控制边界上遗留的材料量。若边界接触位置参数为“对中”，则不能应用边界余量。

（4）空间范围　“空间范围”通过沿着所选部件表面和表面区域的外部边缘创建环来定义切削区域，如图 4-20 所示。环类似于边界，因为它们都可定义切削区域。但环与边界不同的是，环是在部件表面上直接生成的而且无需投影。



a）　b）

图 4-20　沿着部件表面所有外部边缘的环

a）环　b）得到的刀轨

“部件空间范围”包括以下三个选项：

1）【无】：不是用工件包含来定义切削区域。

2）【最大的环】：使用工件中的最大封闭区域的环来定义切削区域，如图 4-21b 所示。

3）【所有环】：使用工件中的所有封闭区域的环来定义切削区域，如图 4-21a 所示。

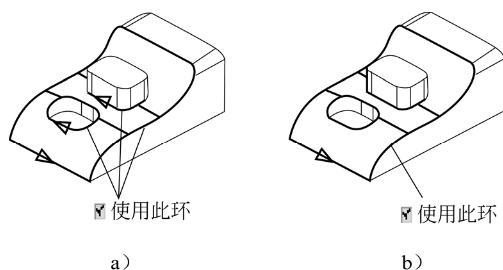


图 4-21　所有环与最大的环
a）所有环　b）最大的环

（5）驱动设置

1）【切削模式】：用于定义刀轨的形状。共计有九种切削模式，下面分别加以介绍。

①〖跟随周边〗：“跟随周边”可沿着切削区域的轮廓创建一个可生成一系列同心刀路的切削模式，如图 4-22 所示。与“往复”一样，这种切削类型可以通过允许刀具在步距间保持连续的进刀来最大化切削运动。除了将切削方向指定为“顺铣”或“逆铣”外，还必须将“腔体方向”指定为“向内”或“向外”。

②〖配置文件〗：配置文件创建跟随切削区域周界的切削模式。与“跟随周边”不同，此选项仅用于沿着边界进行切削，如图 4-23 所示。“轮廓铣”可激活“附加刀路”选项，它可以用来移除指定数目的连续步距中的材料。

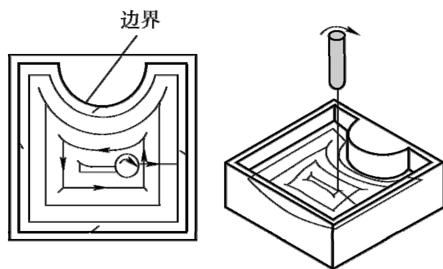


图 4-22　跟随周边（顺铣向外）

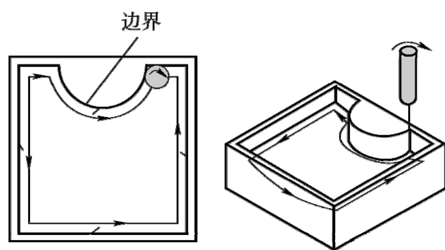


图 4-23　配置文件——顺铣

③〖单向〗：单向是一个单方向的切削类型，它通过退刀使刀具从一个切削刀路转换到下一个切削刀路，转向下一个刀路的起点，然后再以同一方向继续切削，如图 4-24 所示。

④〖标准驱动〗：标准驱动可创建类似于跟随切削区域周界的“轮廓铣”的切削模式。但与“轮廓铣”不同的是，“标准驱动”不会修改刀轨以防止自相交或过切部件。“标准驱动”可使刀具精确跟随指定的边界，如图 4-25 所示。

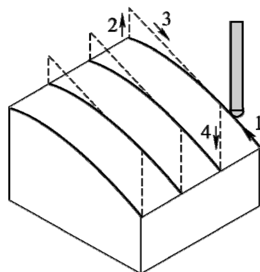
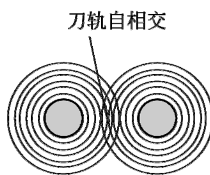


图 4-24　平行线模式的单向铣



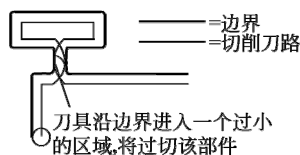


图 4-25　标准驱动

⑤〖往复〗：往复可在刀具以一个方向步进时创建相反方向的刀路。系统在一个方向上生成单向刀路，继续切削时进入下一个刀路，并按相反的方向创建一个回转刀路，如图 4-26 所示。这种切削类型可以通过允许刀具在步距间保持连续的进刀来最大化切削运动。在相反方向切削的结果是生成一系列的交替“顺铣”和“逆铣”。

⑥〖单向轮廓〗：单向轮廓是一个单方向的单向切削类型，切削过程中刀具沿着步距的边界轮廓移动，如图 4-27 所示。

⑦〖单向步进〗：单向步进创建带有切削“步距”的单向模式。如图 4-28 所示为“单向步进”的切削和非切削移动序列。刀路 1 是一个切削运动。刀路 2、3 和 4 是非切削移动。刀路 5 是一个“步距”和切削运动，刀路 6 重复序列。

⑧〖径向线〗：径向线可创建线性切削模式，可从用户指定的或系统计算的最优中心点延伸，如图 4-29 所示。该“切削模式”允许指定一个“切削类型”、一个“模式中心”，还可以将加工腔体的方法指定为“向内”或“向外”。

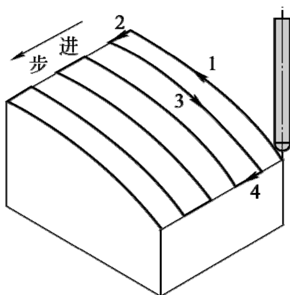


图 4-26　平行线模式的往复铣

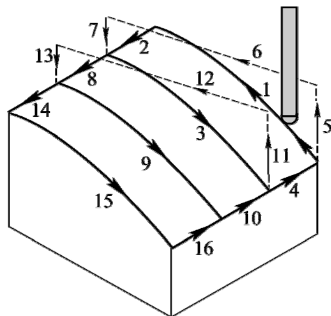


图 4-27　平行线模式的单向轮廓

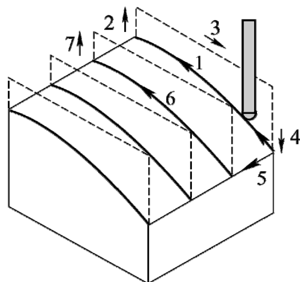


图 4-28　平行线模式的单向步进

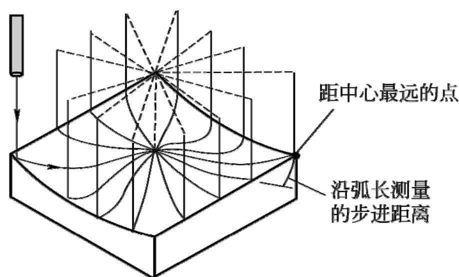


图 4-29　单向切削类型和内向加工腔体的径向线

⑨【同心圆弧】：同心圆弧可从用户指定的或系统计算的最优中心点创建逐渐增大的或逐渐减小的圆形切削模式，如图 4-30 所示。此“切削模式”允许指定一个“切削类型”、一个“模式中心”，还允许将加工腔体的方法指定为“向内”或“向外”。在完整的圆形模式无法延伸到的区域，如拐角处，系统在刀具运动至下一个拐角以继续切削之前会生成同心圆弧，且这些圆弧由指定的“切削类型”进行连接。

2）【图样方向】：用于指定加工腔体的方法，用于它可以确定“跟随周边”、“同心圆弧”、“径向线”切削模式中的切削方向，包括“向外”、“向内”和等两种，分别如图 4-31 和图 4-32 所示。

3）【切削方向】：顺铣和逆铣允许根据主轴旋转定义“驱动轨迹”切削的方向，与“螺旋式驱动方式”相同，仅可用于“单向”、“单向轮廓”和“单向步进”切削类型。

4）【步距】：用于定义连续相邻两次走刀之间的距离。

5）【切削角】：用于指定切削旋转角度，该角是刀轨相对于 WCS 的 XC 轴的方向，如图 4-33 所示。

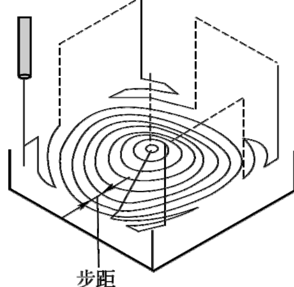


图 4-30　往复切削类型和内向加工腔体的同心圆弧

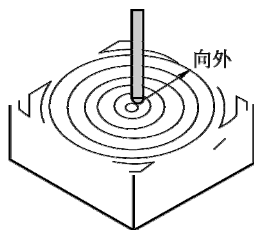


图 4-31　同心圆弧时的向外

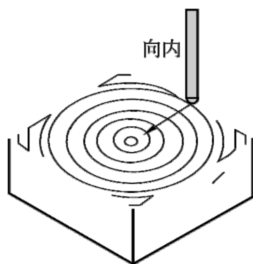


图 4-32　同心圆弧时的向内

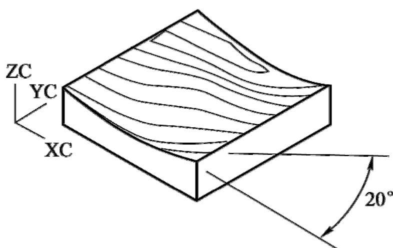


图 4-33　切削角示意图

①〖自动〗：选择该选项，系统经自动决定每个切削区域的切削角度。

②〖用户定义〗：选择该选项，可输入所需的角度值。单击“显示切削方向”按钮，可在图形区显示定义的切削角的矢量方向。

6）【附加刀路】：附加走刀次数。在“轮廓铣”和“标准”切削模式中，可指定一次或多次附加走刀，如图 4-34 所示。

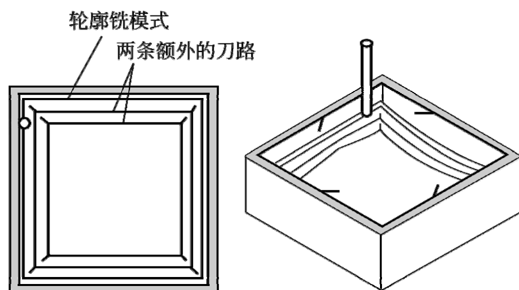


图 4-34　附加刀路示意图

（6）更多

1）【区域连接】：在同一切削层的可加工区域内，可能因岛屿、窄通道的存在等因素导致形成多个子切削区域。勾选该选项，只在必要的情况下，刀具从前一个子区域退刀，到下一个子区域进刀。否则，在子区域之间跨越时，刀具一定会退刀，以保证不会过切工件。

2）【边界逼近】：当作粗加工时，仿形零件曲线边界的曲线刀轨没有必要精确对应边界的形状，可以用多边形刀轨替代，以减少处理时间和数据。勾选“边界逼近”复选框，从靠近边界的第二刀开始，曲线刀轨变粗糙。

3）【岛清理】：用于“跟随周边”和“轮廓铣”走刀方式。环绕岛的周围增加一次走刀，以清除岛侧面周围残留下来的材料。

4）【壁清理】：当应用单向切削、往复切削以及跟随周边切削方法时，用“周壁清理”可以清理零件壁后或者岛屿壁上的残留材料。它是在切削完每一个切削层后插入一个轮廓铣轨迹来进行的。使用“壁清理”，就可以使用大直径刀具做粗加工，不用担心侧面太粗糙，因此，“壁清理”一般还是用来解决粗加工任务的。该方式包括以下四个选项：

①〖无〗：不进行零件的侧壁清理。

②〖在起点〗：表示在每个切削层开始的第一刀作清理，即刀具在切削时，首先沿零件的侧壁产生一条刀具路径进行侧壁清理，再进行层的切削。

③〖在终点〗：表示在每个切削层开始的最后一刀作清理，即刀具在切削时，首先进行层的切削，再沿零件的侧壁产生一条刀具路径进行侧壁清理。

④〖自动〗：在切削过程中，系统根据实际情况自动判断零件的清壁是在层切前还是层切后。

5）【切削区域】：用于定义切削区域的起点和在绘图区显示切削区域。在“边界驱动方法”对话框中单击“选项”按钮，弹出“切削区域选项”对话框，如图 4-35 所示。该对话框包括“切削区域起点”和

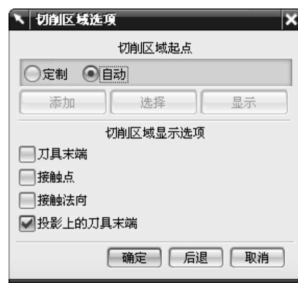


图 4-35 “切削区域选项”对话框

“切削区域显示选项”两个部分，它们的含义如下：

①〖切削区域起点〗：用于定义刀具开始切削的大概位置。如果选择“定制”方式，用户定义“起点”不必定义精确的起始位置，而只是定义开始切削的大致区域，系统根据“起点”位置、指定的“切削类型”和切削区域的形状定义精确的起始位置；如果选择“自动”方式，系统自动为切削区域定义一个“起点”。

②〖切削区域显示选项〗：由四个选项组成，它们可以以任何需要的组合形式使用，用于定义切削区域如何以图形方式显示。

（7）预览　单击“显示”按钮，显示用于构成刀具轨迹的驱动路径。

4.2.4　区域铣削驱动方法

区域铣削驱动方法是固定轴曲面轮廓铣特定的驱动方法。区域铣削驱动方法是通过指定切削区域来生成刀具路径，并且在需要的情况下添加“陡峭包含”和“修剪边界”约束，如图 4-36 所示。

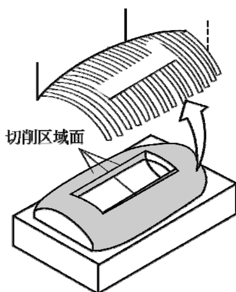


图 4-36　区域铣削驱动方法

1．区域铣削驱动方法简介

区域铣削驱动方法类似于边界驱动方法，但是它不需要驱动几何体，而是利用零件几何自动计算出不冲突的容纳环。因此，用户应该尽可能使用区域铣削驱动方法来代替边界驱动方法。

用户可通过选择“曲面区域”、“片体”或“面”来定义“切削区域”。与“曲面区域”驱动方法不同，切削区域几何体不需要按一定的行序或列序进行选择。如果不指定“切削区域”，系统将使用完整定义的“工件几何体”（刀具无法接近的区域除外）作为切削区域。换言之，系统将使用工件轮廓线作为切削区域。如果使用整个“工件几何体”而没有定义“切削区域”，则不能移除“边缘跟踪”。

2．区域铣削驱动方法参数

在“固定轴曲面轮廓”对话框的“驱动方法”组框中的“方法”下拉列表中选择“区域铣削”选项，弹出“区域铣削驱动方法”对话框，如图 4-37 所示。该对话框的驱动方法参数说明如下。

（1）陡峭空间范围　“陡峭空间范围”根据刀轨的陡峭度限制切削区域，用于控制残余高度和避免将刀具插入到陡峭曲面上的材料中。如果刀轨的某些部分与刀轴的垂直平面所成的角大于指定的陡角，那么这部分的刀轨被定义为“陡峭”，而其余的刀轨部分被视为“非陡峭”，如图 4-38 所示。

“陡峭空间范围”组框中“方法”下拉列表中可指定陡峭空间的范围方式，包括以下选项：

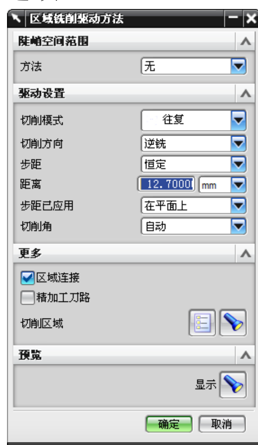


图 4-37 “区域铣削驱动方法”对话框

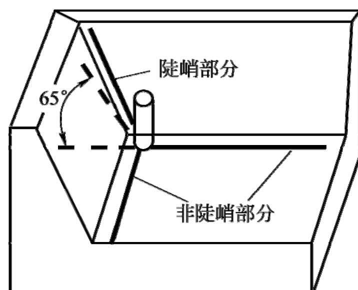


图 4-38 陡峭部分和非陡峭部分

1）【无】：不在刀轨上施加陡峭度限制，而是加工整个切削区域。

2）【非陡峭】：只在部件表面角度小于“陡角”值的切削区域内加工，“陡角”值允许的范围是 0～90°，如图 4-39 所示。

3）【定向陡峭】：只在部件表面角度大于“陡角”值的切削区域内加工，“陡角”值允许的范围是 0～90°，如图 4-40 所示。

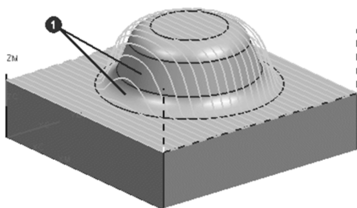


图 4-39 非陡峭

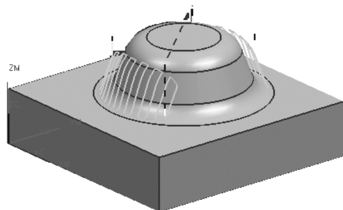


图 4-40 定向陡峭

（2）切削模式 与“边界驱动”中的“切削模式”基本相同，读者请参考相关内容学习。

（3）切削方向 顺铣和逆铣允许根据主轴旋转定义“驱动轨迹”切削的方向。这些选项仅可用于“单向”、“单向轮廓”和“单向步进”切削类型。

（4）步距 步距用于指定连续切削刀路之间的距离。如图 4-41 所示，1 代表残余高度，2 代表步距。

可用的“步距”选项由指定的切削模式（“跟随周边”、“轮廓铣”、“平行”、“径向”和“同心”）和与“平行”、“径向”和“同心”相关联的切削模式（Zig、Zig-Zag、“单向提升”等）决定。包括以下选项：

1）【恒定】：指定连续的切削刀路间的固定步距。步距在“驱动路径”的切削刀路之间测量。用于“径向线”切削类型时，“恒定的”距离从距离圆心最远的边界点处沿着弧长进行测量。此选项类似于“平面铣”中的“恒定的”选项。

2）【残余高度】：根据输入的残余高度决定步距。步距计算在垂直于刀轴的平面上进行。系统将步距的大小限制为略小于三分之二的刀具直径，而不管将残余高度指定为多少。

3）【刀具直径】：根据有效刀具直径的百分比定义步距。有效刀具直径是指实际上接触到腔体底部的刀具的直径。对于球头立铣刀，系统将其整个直径用作有效刀具直径。此选项类似于“平面铣”中的“刀具直径”选项。

4）【可变的】：使用介于指定的最小值和最大值之间的不同步距。所需的输入值根据所选择的“切削”类型的不同而有所不同。此选项类似于“平面铣”中的“可变的”选项。

（5）步距已应用　在“区域铣削驱动方式”对话框中，以通过切换“在平面上”和“在工件上”来定义步距的测量方式。

1）【在平面上】：选择“在平面上”方式，当系统生成用于操作的刀轨时，步距是在垂直于刀轴的平面上测量的，如图 4-42 所示。如果将此刀轨应用在具有陡峭壁的工件上，那么此工件上实际的步距不相等。因此，“在平面上”最适用于非陡峭区域。

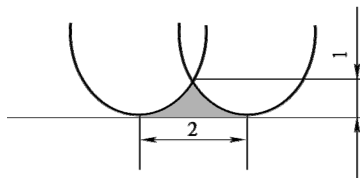


图 4-41　步距示意图

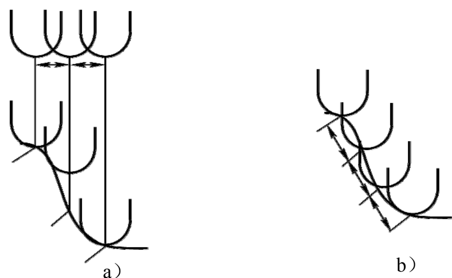


图 4-42　步距已应用

a）在平面上　b）在部件上

2）【在工件上】：选中“在工件上”方式，当系统生成用于操作的刀轨时，沿着工件测量步距，如图 4-42 所示。因为“在工件上”沿着工件测量步距，所以它适用于具有陡峭壁的工件。因此，可以对工件几何体较陡峭的部分维持更紧密的步距，以实现对残余高度的附加控制。

（6）切削角　用于指定切削旋转角度，该角是刀轨相对于 WCS 的 XC 轴的方向。

4.2.5　曲面驱动方法

曲面驱动方法可以创建一个位于“驱动曲面”栅格内的“驱动点”阵列，然

后将“驱动曲面”上的点按指定的“投影矢量”的方向投影到“部件表面”上创建刀轨，如图 4-43 所示。

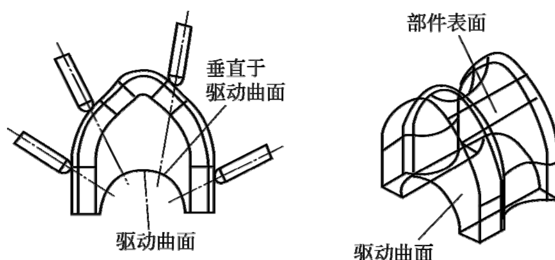


图 4-43 “曲面驱动方法”示意图

1. 曲面积驱动方法简介

由于曲面驱动方法对刀轴以及驱动点的投影矢量提供了“附加控制”选项，因此常用于加工可变轴加工复杂曲面。如果未定义“部件表面”，则可直接在“驱动曲面”上创建刀轨。“驱动曲面”不必是平面，但是其栅格必须按一定的栅格行序或列序进行排列，相邻的曲面必须共享一条公共边，且不能包含超出在“首选项”中定义的“链公差”的缝隙，如图 4-44 所示。

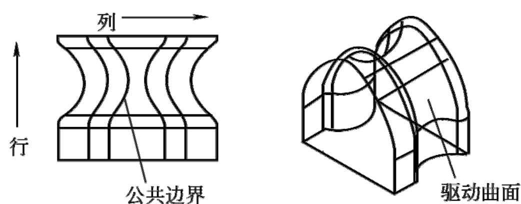


图 4-44 行和列均匀排列的矩形栅格

必须按有序序列选择“驱动曲面”，不能随机选择。选择完第一行后，必须指定选择下一行，然后必须按与第一行相同的顺序选择曲面的第二行和所有的后续行，如图 4-45 所示。

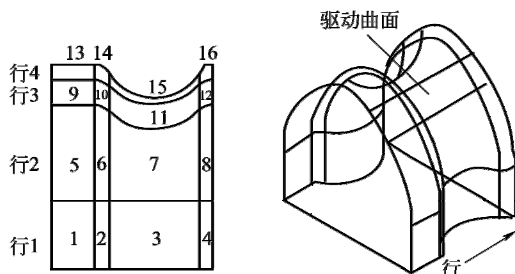


图 4-45 驱动曲面选择序列

2. 曲面驱动方法参数

在“固定轴曲面轮廓”对话框的“驱动方法”组框中“方法”下拉列表中选

择“曲面”选项，弹出“曲面驱动方法”对话框，如图 4-46 所示。

（1）驱动几何体　用于定义驱动几何体，包括以下选项：

1）【指定驱动几何体】：单击“指定或编辑驱动几何体”按钮，弹出“驱动几何体”对话框，用户可选择实体表面和片体作为驱动曲面。

2）【切削区域】：设置用于操作的驱动曲面总面积的多少，包括“面积%”和“对角点”两个选项。

①〖面积%〗：选择“面积%”选项，弹出“曲面百分比方法”对话框，如图 4-47 所示。该对话框中所有起点的位置均为 0%，若为负值，则扩展切削区域到表面起始边缘以外；若为正值，则缩小切削区域。对话框中所有终点的位置均为 100%，若小于 100%，则缩小切削区域；若大于 100%，则扩展切削区域到表面终止边缘以外，如图 4-48 所示。



图 4-46　“曲面驱动方法”对话框

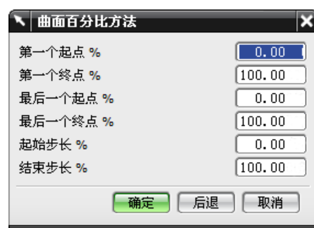


图 4-47　“曲面百分比方法”对话框

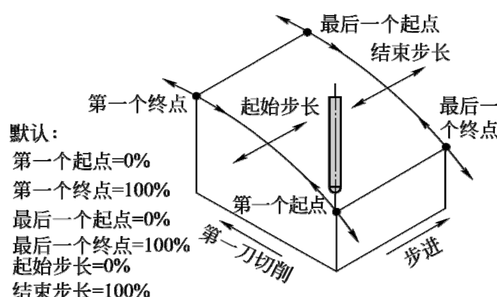


图 4-48　曲面百分比参数含义

②〖对角点〗：从驱动曲面的选定表面上指定两个对角点来确定切削区域，如图 4-49 所示。

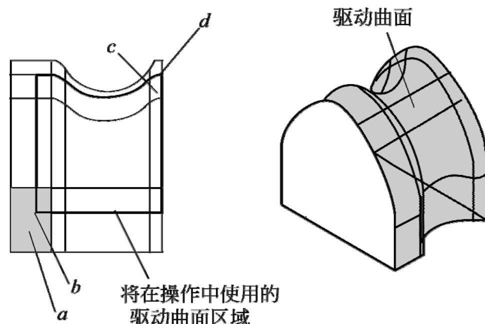


图 4-49　对角点定义切削区域

3）【刀具位置】：用于定义刀具与部件表面的接触点位置，包括以下两个选项，如图 4-50 所示。

①〖相切〗：将刀具定位为与驱动曲面相切，然后沿投影矢量投影以创建部件表面接触点。

②〖开〗：将刀尖直接定位到驱动点，然后沿投影矢量的投影来创建部件表面接触点。

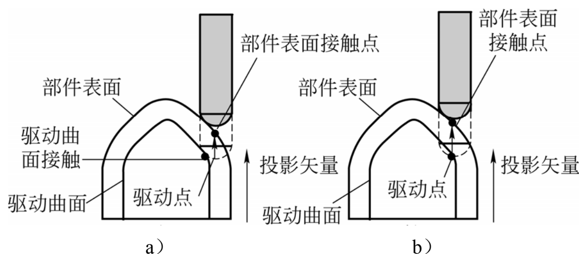


图 4-50　“相切”和“开”刀具位置

a）相切于　b）对中

4）【切削方向】：用于指定切削方向和第一刀开始的区域。单击“切削方向”按钮，系统将驱动曲面四角出现成对矢量箭头。单击鼠标选择一个，即可确定切削方向以及刀具开始切削的位置，如图 4-51 所示。

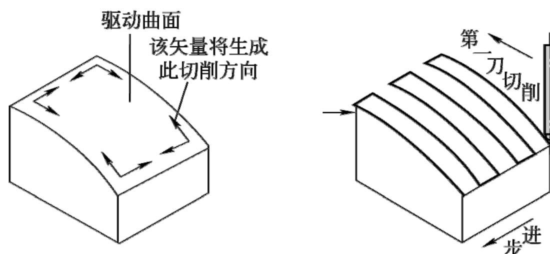


图 4-51　“切削方向”示意图

5）【侧料反向】：用于将材料侧的矢量方向反向。“材料侧”法矢必须指向要移除的材料，并且远离刀具不能触碰的那一侧，如图 4-52 所示。

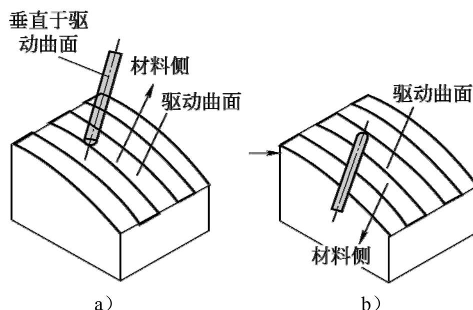


图 4-52　材料侧矢量

a）正确　b）不正确

（2）偏置　“曲面偏置”用于指定沿曲面法向使“驱动点”偏置指定的距离。

（3）驱动设置

1）【切削模式】：用于定义刀轨的形状，其含义与“边界驱动”中“切削模式”基本相同。

2）【步距】：用于控制连续切削刀路之间的距离，包括“数量”和“残余高度”两个选项，如图 4–53 所示。

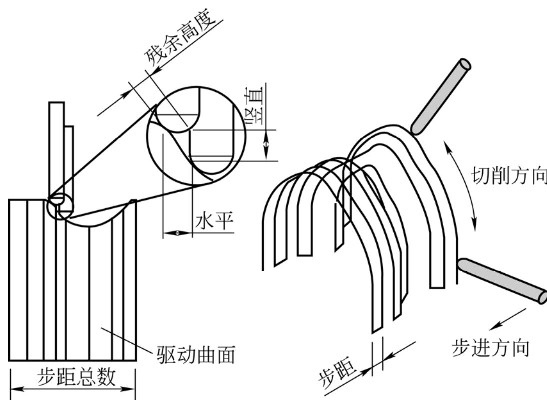


图 4–53　步距示意图

①〖残余高度〗：用于指定残余高度值来限制切削步距的大小，其值是在垂直于驱动表面方向测量的最大允许高度。“水平限制”表示垂直于投影矢量方向测量的最大允许高度；“垂直限制”表示平行于投影矢量方向测量的最大允许高度。

②〖数量〗：用于指定切削步进的总数，即将加工范围均分为指定数量多等分。

3）【显示接触点】：显示生成的各驱动点的曲面法矢。

（4）更多

1）【切削步长】：用于确定沿切线方向上相邻两驱动点之间的距离，以确定加工的精确程度，如图 4–54 所示。

2）【过切时】：用于指定切削移动期间刀具过切驱动曲面体时的响应方式，提供了“无”、“警告”、“跳过”、“退刀”四种方式。

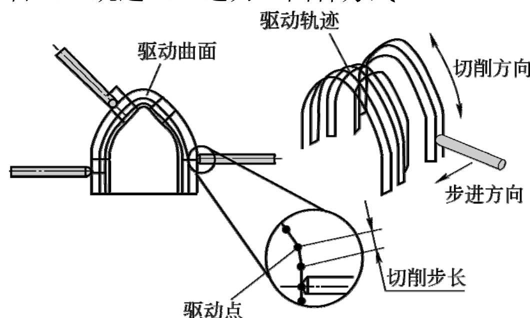


图 4–54　“切削步长”示意图

（5）预览　单击“显示”按钮，显示用于构成刀具轨迹的驱动路径。

4.2.6　流线驱动方法

流线驱动方法是指根据选中的几何体来构建隐式驱动曲面，可灵活地创建刀轨。

在“固定轮廓铣”对话框的“驱动方法”组框中“方法”下拉列表中选择“流线”选项，弹出“流线驱动方法”对话框，如图 4-55 所示。



图 4-55　“流线驱动方法”对话框

“流线驱动方法”对话框中的相关选项含义与“曲面驱动方法”基本相同，不同的是“流曲线和交叉曲线”，其说明如下。

1）【流曲线】：用于选择的第一组线串。选择一条之后，单击一下鼠标左键确认。需要注意的是，选择流线串的时候要保持各个流线串的箭头方向保持一致。

2）【交叉曲线】：用于选择的第二组线串。选择一条之后，单击一下鼠标左键确认。

4.2.7　刀轨驱动方法

使用“平面铣”和“轮廓铣”切削类型创建“刀轨”的过程，如图 4-56 所示。

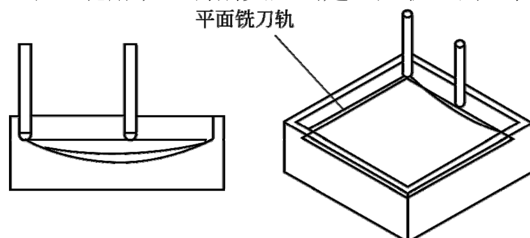


图 4-56　平面铣的轮廓切削

1. 刀轨驱动方法简介

刀轨驱动方法用于沿着“刀位置源文件”（CLSF）的“刀轨”定义“驱动点”，以在当前操作中创建一个类似的“曲面轮廓铣刀轨”的刀轨。“驱动点”沿着现有的“刀轨”生成，然后投影到所选的“部件表面”上以创建新的刀轨，新的刀轨是沿着曲面轮廓形成的。“驱动点”投影到“部件表面”上时，所遵循的方向由“投影矢量”确定。

“刀轨驱动方法”操作从“平面铣”操作创建的刀轨已按照“投影矢量”的方向投影到轮廓化的“部件表面”上，以便创建“曲面轮廓铣刀轨”，如图 4-57 所示。

2. **刀轨驱动方法参数**

在“固定轴曲面轮廓”对话框的“驱动方法”组框中“方法”下拉列表中选择“刀轨”选项，弹出“指定 CLSF”对话框。选择合适的刀轨后，单击“OK”按钮，弹出“刀轨驱动方法”对话框，如图 4-58 所示。

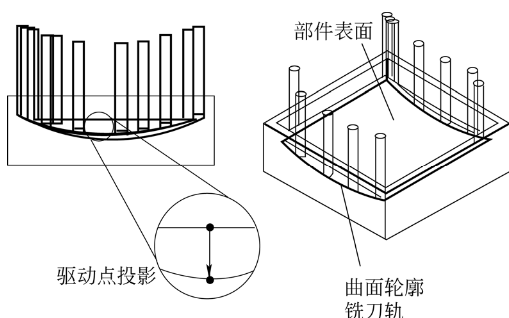


图 4-57　使用刀轨驱动方法的曲面轮廓铣



图 4-58　“刀轨驱动方法”对话框

（1）刀轨　“刀轨”窗口列出与所选的 CLSF 相关联的刀轨，即将选择希望投影的刀轨。此列表只允许一个选择。要取消选择，请按 Shift 键。

（2）重播　“重播”允许查看所选的刀轨，用于显式验证是否已经选择了正确的刀轨。

（3）列表　列表显示了一个“信息窗口”，此窗口中以文本格式显示了所选的刀轨。

（4）按进给率划分的运动类型

“按进给率划分的运动类型”窗口列出与所选刀轨中的各种切削和非切削移动相关联的进给率，用于根据关联的进给率指定刀轨的哪一段将投影到“驱动几何体”上。如果希望排除关联进给率为“快速”的所有刀轨段，因为它们一般都是非切削移刀。

4.2.8　径向切削驱动方法

1. **径向切削驱动方法简介**

径向切削驱动方法使用指定的“步距”、“带宽”和“切削类型”生成沿着并垂直于给定边界的“驱动轨迹”，如图 4-59 所示。该驱动方法可用于创建清理操作。

2. **径向切削驱动方法参数**

在“固定轴曲面轮廓”对话框的“驱动方法”组框中“方法”下拉列表中选择“径向切削”选项，弹出“径向切削驱动方法”对话框，如图 4-60 所示，其驱

动方法参数说明如下。

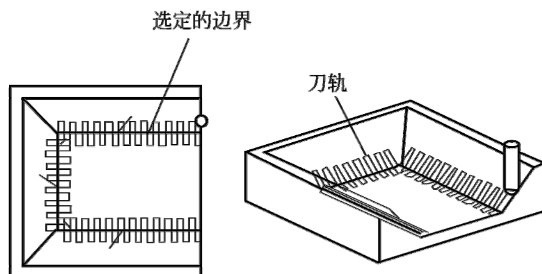


图 4-59 径向切削驱动方法示意图



图 4-60 “径向切削驱动方法”对话框

（1）驱动几何体 用于定义径向边界或临时边界，通过指定的边界和“带宽”来定义切削的区域。单击“选择或编辑驱动几何体”按钮，系统弹出“临时边界（没有定义永久边界）”对话框或“径向边界（已经定义了永久边界）”对话框，如图 4-61 和图 4-62 所示。



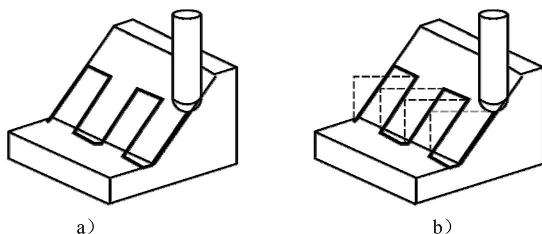
图 4-61 “临时边界”对话框



图 4-62 “径向边界”对话框

（2）驱动设置

1）【切削类型】：用于定义刀具从一个切削刀路移动到下一个切削刀路的方式，包括“往复”和“单向”选项，如图 4-63 所示。



a） b）

图 4-63 径向切削驱动方法的往复和单向

a）往复 b）单向

2）【步距】：用于指定连续的“驱动轨迹”之间的距离。

3）【距离】：用于定义在边界平面上测量的加工区域的总宽度，是“材料侧”和“另一侧”偏置值的总和。“材料侧”是从按照边界指示符的方向看过去的边界右手侧；“另一侧”是左手侧，如图 4-64 所示。“材料侧”和“另一侧”的总和不能等于零。

4）【刀轨方向】：用于确定刀具沿着边界移动的方向，包括“跟随边界”和“边界反向”两种，如图 4-65 所示。

①〖跟随边界〗：刀具按照边界指示符的方向沿着边界单向或往复向下移动。

②〖边界反向〗：刀具按照边界指示符的相反方向沿着边界单向或往复向下移动。

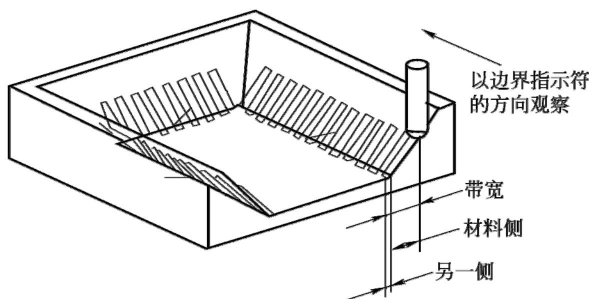


图 4-64 “材料侧”和“另一侧”示意图

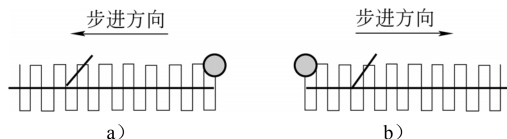


图 4-65 跟随边界和边界反向

a）跟随边界　b）边界反向

（3）预览　单击“显示”按钮，显示用于构成刀具轨迹的驱动路径。

4.2.9　清根驱动方法

清根用于高速加工时，在往复切削模式加工之前，移除拐角剩余的材料、之前较大的球刀遗留下来的未切削的材料。

1. 清根驱动方法概述

清根驱动方法是沿着部件表面形成的凹角和凹部一次生成一层刀轨，系统自动确定切削方向与加工的先后顺序，结果刀轨将得到优化，刀具尽可能保持与零件表面接触，以减少非切削运动的时间。

2. 清根驱动方法参数

在“固定轴曲面轮廓”对话框的“驱动方法”组框中“方法”下拉列表中选择“清根”选项，弹出“清根驱动方法”对话框，如图 4-66 所示。具体的参数意义说明如下。

（1）驱动几何体　要生成一个“清根切削”运动，刀具必须在不同的两点接触部件表面。如图 4-67 所示，在曲面的曲率大于刀具拐角半径的区域时，不会进行“清根”，但是在曲面的曲率小于等于刀具拐角半径的区域时，将会进行“清根”，同时生成双切点。



图 4-66 “清根驱动方法”对话框

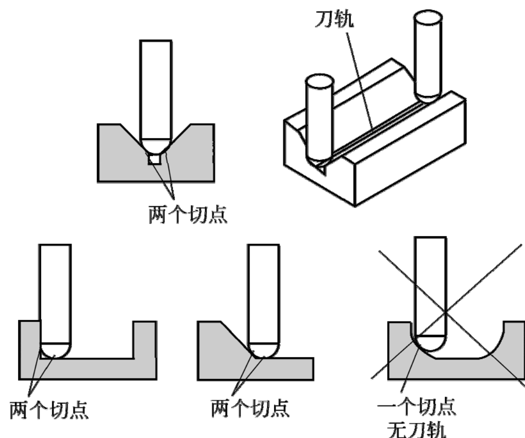


图 4-67 双切点

1）【最大凹腔】：用于指定“清根”操作的最大凹角，只有凹角小于等于指定的“最大凹角”的区域才自动清根。

①〖凹角〗：在生成“切削”运动的过程中，两个“部件表面”必须形成一个相对角，此角度介于 0° 到 180° 之间，但是这两个曲面不必相邻。此相对角被称为凹角，它由两个矢量定义，每个矢量均通过一个“接触点”并且和一个“部件表面”相切，如图 4-68 所示。只有在凹角小于指定的“最大凹角”的位置可以创建刀轨。

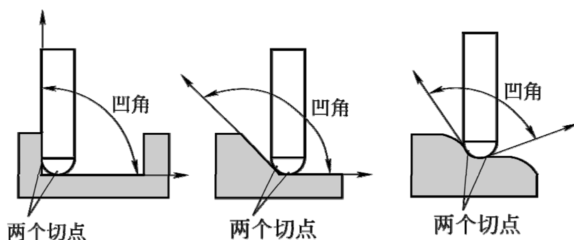


图 4-68 凹角

如果凹角太宽或者超出指定的“最大凹角”，那么不会创建“切削运动”。两个曲面之间的凹角可能会有所不同。如果有所不同，在凹角超出“最大凹角”的位置会退刀，在凹角小于等于“最大凹角”的位置会再次进刀，如图 4-69 所示。

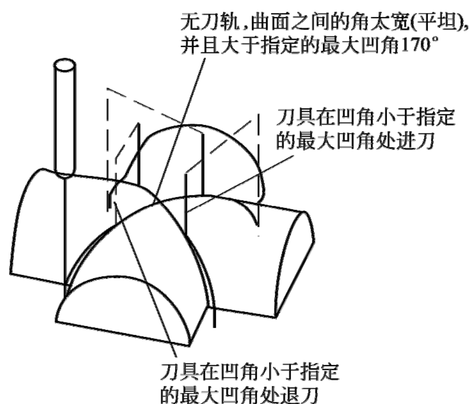
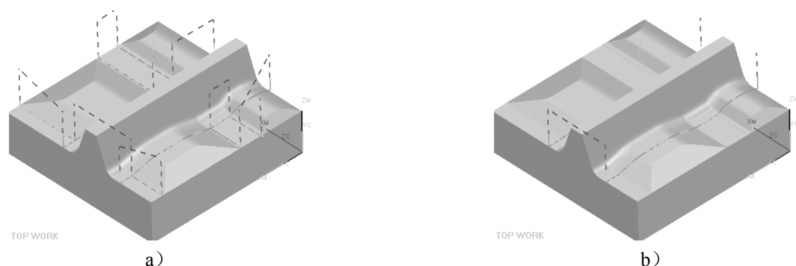


图 4-69　最大凹角

②〖最大凹角〗：用于指定“清根”操作的最大凹角，只有凹角小于等于指定的“最大凹角”的区域才自动清根。在图 4-70a 中，“最大凹角”被设置为 179°，所有小于等于 179°的角均被加工，即切削了所有的凹谷。



a）　b）

图 4-70　最大凹角含义

a）179°凹角　b）160°凹角

2）【最小切削深度】：用于指定刀具生成的刀具轨迹的最小切削长度。对于切削区域小于最小切削深度的短刀轨段，不会生成切削运动。如图 4-71 所示，要除去可能发生在圆角相交处的非常短的切削运动时，此选项尤其有用。

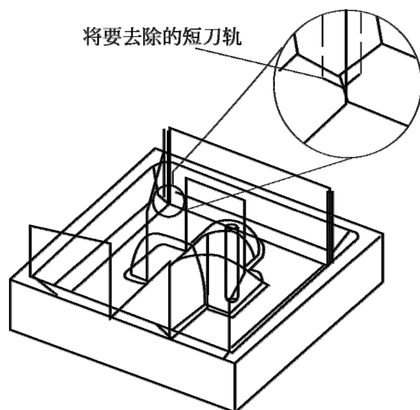


图 4-71　最小切削深度

3）【合并距离】：用于通过连接不连贯的切削运动来除去刀轨中小而不连续的或不需要的缝隙。如果两条刀具路径之间的距离小于等于指定的“连接距离”时，则系统会自动地将两条刀具路径连接起来，如图 4-72 所示。

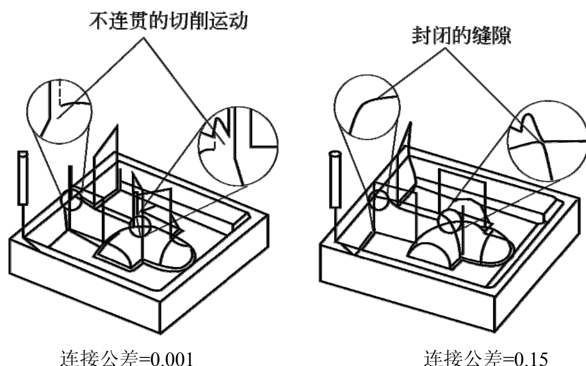


图 4-72　由凹角变化引起的不连贯的切削运动


提示

刀轨不连续性出现在从“部件表面”退刀的位置，有时也可能由曲面之间的缝隙或者超出指定的“最大凹角”的凹角变化引起。

（2）陡峭

1）【空间范围】：用于根据输入的“陡峭角度”控制操作的切削区域。如果刀轨的某些部分与刀轴的垂直平面所成的角大于指定的陡角，那么这部分的刀轨被定义为“陡峭”，而其余的刀轨部分被视为“非陡峭”。因此，刀轨分为陡峭部分和非陡峭部分，可以使用选项“无”、“陡峭”或“非陡峭”来输出所需的部分，并可以使用“陡峭切削”来指定非陡峭和陡峭部分所需的切削方向，如图 4-73 所示。“陡峭角度”值允许的范围是 0°～90°。

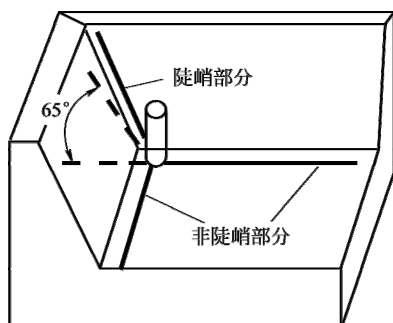


图 4-73　“陡峭”与“非陡峭”示意图

①〖无〗：不区分陡峭和非陡峭区域，用来对整个切削区域进行加工。

②〖陡峭〗：仅对陡峭部分进行加工，并且将“陡峭切削方向”应用到刀轨的这些部分，如图 4-74a 所示。使用“陡峭”时，可以选择“混合”、“由高到低”或“由低到高”切削方向。

③〖非陡峭〗：仅对非陡峭部分进行加工，如图 4-74b 所示。

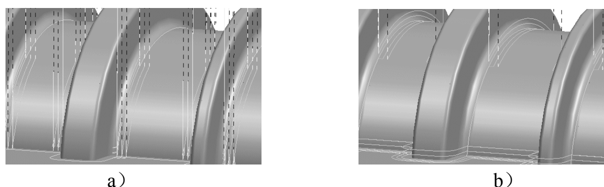

a）　　b）

图 4-74　陡峭和非陡峭含义

a）陡峭刀轨　b）非陡峭刀轨

2）【陡峭切削】：包括“由高到低”、“由低到高”或“混合”三种方式，分

别介绍如下：

①〖由高到低〗：使刀具由高的一端向低的一端加工刀轨的陡峭部分，如图 4-75a 所示。

②〖由低到高〗：使刀具由低的一端向高的一端加工刀轨的陡峭部分，如图 4-75b 所示。

③〖混合〗：使刀具由高到低和由低到高的交替加工刀轨的陡峭部分。

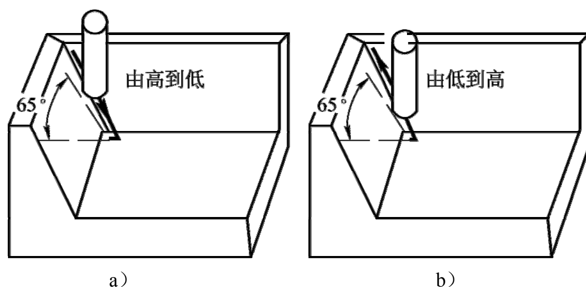


图 4-75　陡峭切削

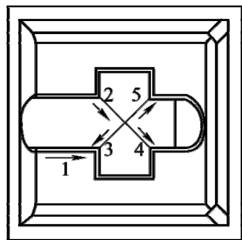
a）由高到低　b）由低到高

（3）驱动设置

1）【清根类型】：用于指定“单刀路”、“多个偏置”、“参考刀具偏置”清根方式，包括以下选项：

①〖单刀路〗：将沿着凹角和凹谷产生一个切削刀路，如图 4-76 所示。该选项不会激活“清根”对话框中的任何附加刀具输出参数选项。

②〖多个偏置〗：指定偏置数和偏置之间的“步距”，这样便可在中心清根的任一侧产生多个切削刀路，如图 4-77 所示。该选项可激活“切削类型”、“步距”、“序列”和“偏置数”等参数。



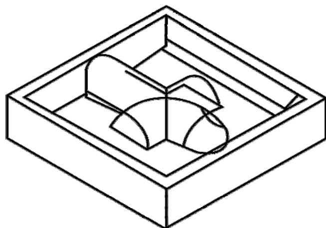


图 4-76　单刀路

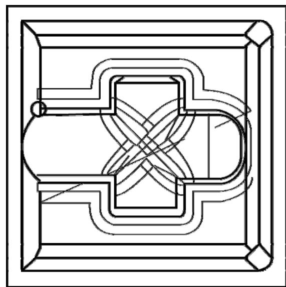


图 4-77　多个偏置

③〖参考刀具偏置〗：用于指定一个参考刀具直径，从而定义要加工的区域的整个宽度；还可以指定一个“步距”，从而定义内部刀路，这样便可在中心清根的

任一侧产生多个切削刀路。用于在使用大（参考）刀具对区域进行粗加工后清理加工。该选项可激活“切削类型”、“步距”、“序列”、“参考刀具直径”以及“重叠距离”参数。

2）【切削模式】：用于定义刀具怎样从一条轨迹到下一条轨迹，包括“单向”和“往复”两种方式。

3）【步距】：用于指定连续的单向或往复切削刀路之间的距离。“步距”在“部件表面”内测量，如图 4-78 所示。只有在指定了“多个偏置”或“参考刀具偏置”的情况下，才可使用此选项。

4）【偏置数】：用于指定要在中心“清根”每一侧生成的刀路的数目。图 4-79 中的“偏置数”等于 9。默认值是零，该值导致系统只能计算并输出中心清根。只有在指定了“多个偏置”的情况下，“偏置数”才是可用的。

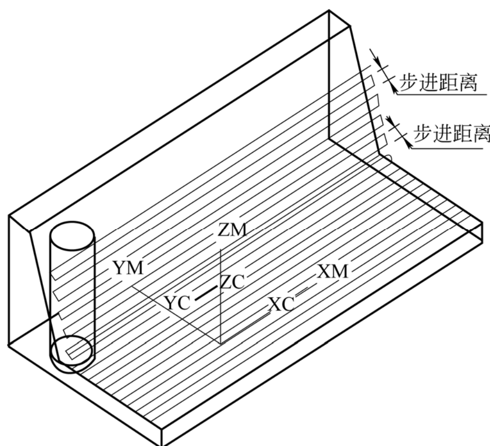


图 4-78 步距

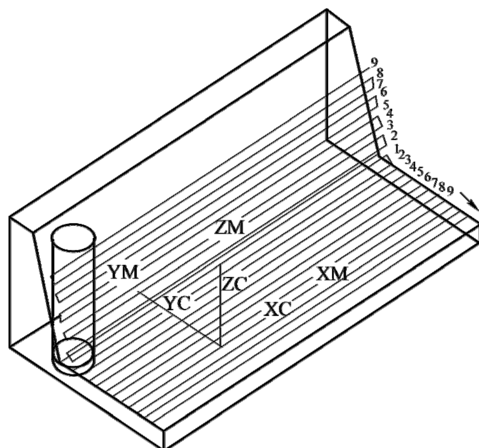


图 4-79 偏置数

5）【序列】：确定执行“往复”和“往复上升”切削刀路的顺序。只有在指定了“多个偏置”或“参考刀具偏置”的情况下，“序列”才是可用的。各个“序列”选项如下所述：

①〖由内向外〗：从中心“清根”开始向某个外部刀路运动，然后刀具移回中心切削，接着再向另一侧运动，如图 4-80 所示。

②〖由外向内〗：从某个外侧刀路开始向中心“清根”运动，然后刀具选取另一侧的外部切削，接着再向中心切削移动，如图 4-81 所示。

③〖由内向外变化〗：通常从中间“清根”刀路开始加工“清根”凹谷。刀具从中心刀路开始，运动至一个内侧刀路，接着向另一侧的另一个内侧刀路运动；然后刀具运动至第一侧的下一对刀路，接着运动至第二侧的同一对刀路。如果某一侧有更多的偏置刀路，系统将在加工完两侧成对的刀路后，对该侧的所有额外刀路进行加工，如图 4-82 所示。

④〖由外向内交替〗：用于在凹谷的一侧到另一侧的刀路间交替地完成加工。在每一对刀路上，使用一个方向从一侧到另一端对凹谷进行加工后，可以在

部件上或部件外进行圆角或标准转弯；转至另一侧后，可以使用相反的方向从另一侧向另一端进行加工，如图 4-83 所示。

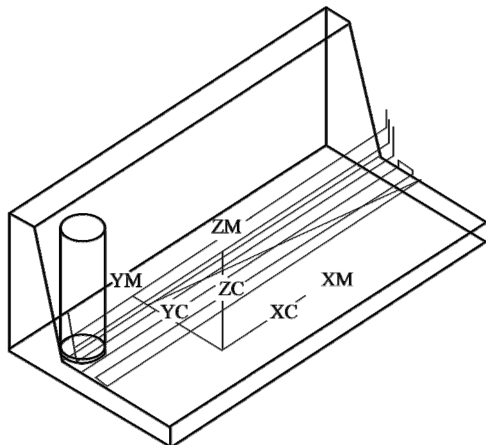


图 4-80　由内向外

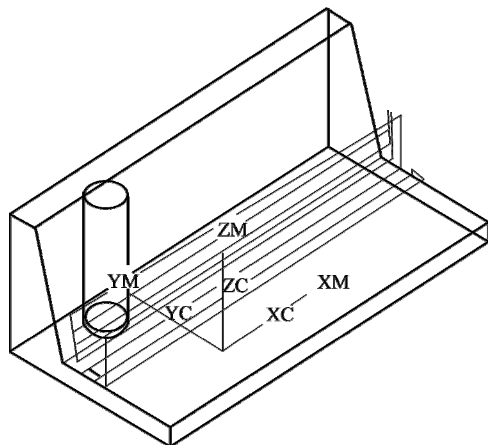


图 4-81　由外向内

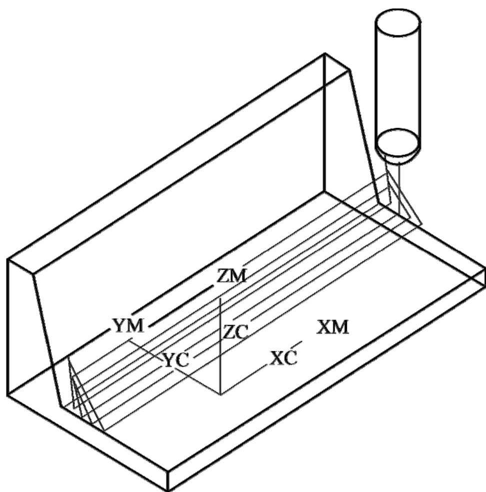


图 4-82　由内向外变化

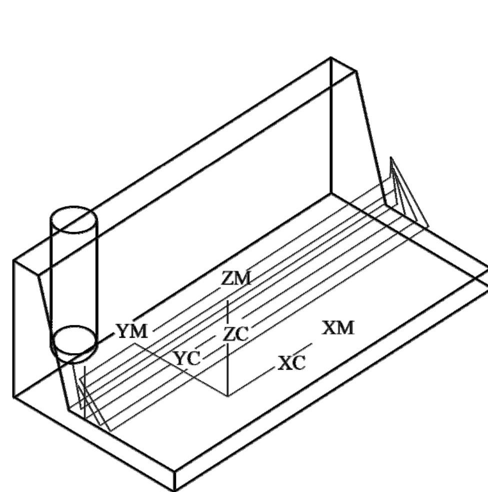


图 4-83　由外向内交替

⑤〖后陡〗：从非陡峭侧向陡峭侧加工清根凹谷，如图 4-84 所示。

⑥〖先陡〗：系统总是按单一方向从陡峭侧的外侧刀路向非陡峭侧的外侧刀路进行加工。那就是说，系统在陡峭侧输出刀路，方向是从内侧偏置到外侧偏置，然后到中间清根（如果需要），最后在非陡峭侧从内侧偏置到外侧偏置输出非陡峭侧的刀路，如图 4-85 所示。“先陡”序列可以用于“单向”、“往复”和“往复上升”模式。

⑦〖往复上升〗：与“区域铣削”模式中的“往复上升”一样，“清根”中的此模式将根据指定的局部“进刀”、“退刀”和“移刀”运动，在刀路之间抬刀。“往复上升”可用于以下序列：“由外向内”、“由内向外”、“先陡”、“后陡”、“由

外向内交替”以及“由内向外交替”。对于“由外向内”和“由内向外”序列，如果刀具从一侧向另一侧运动，则系统根据指定的局部“进刀”、“逼近”、“退刀”、“离开”和“移刀”运动抬刀，如图 4-86 所示。

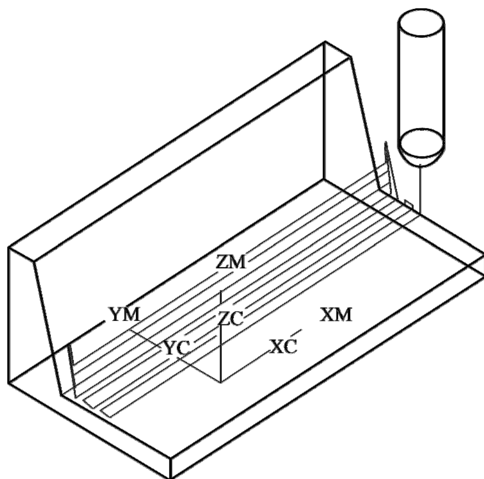


图 4-84 “后陡”示意图

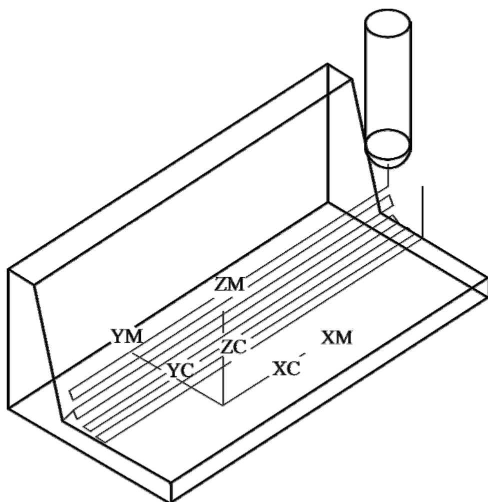


图 4-85 “先陡”示意图

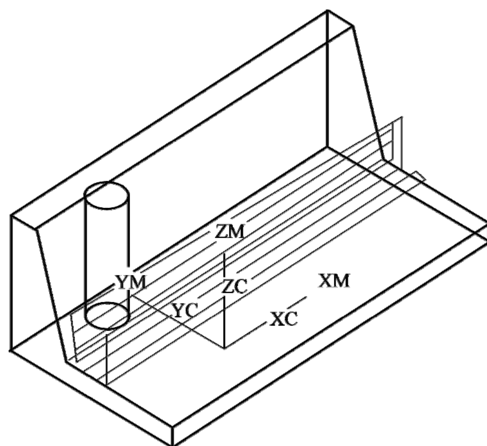


图 4-86 “由外向内”的“往复上升”切削模式

（4）参考刀具

1）【参考刀具直径】：用于根据粗加工球面刀的直径来指定精加工切削区域的宽度。系统根据指定的“参考刀具直径”计算双切点，然后用这些点来定义精加工操作的切削区域，如图 4-87 所示。所指定的参考刀具直径必须大于当前所使用的刀具。

2）【重叠距离】：用于沿着相切曲面延伸由“参考刀具直径”定义的区域宽度。只有在指定了“参考刀具偏置”的情况下，“重叠距离”才是可用的。

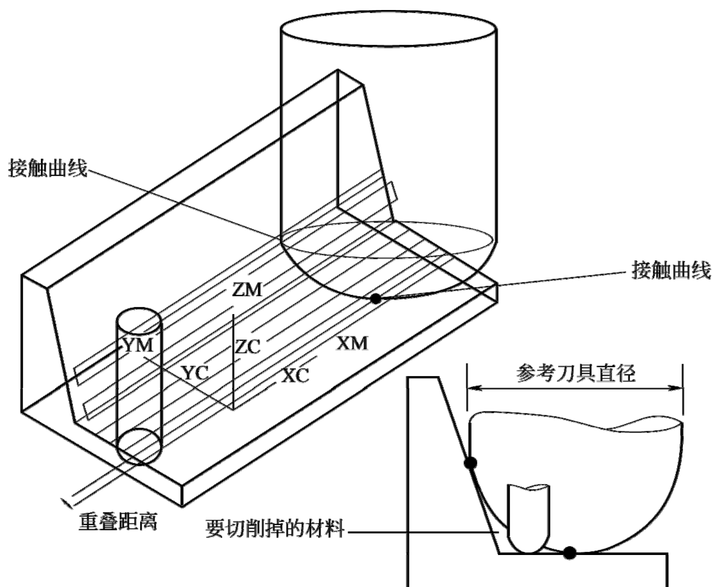


图 4-87　参考刀具直径

4.2.10　文本驱动方法

文本驱动用于直接在轮廓表面雕刻制图文本，例如零件号和模具型腔 ID 号。UG NX 7.0 使用两种方式来进行文本加工："平面轮廓文本"或"固定轮廓铣"驱动方法。

在"固定轮廓铣"对话框中选择"文本"驱动方式，则在"几何体"选项中增加了"指定制图文本"按钮，用于选择加工的文本，如图 4-88 所示。



图 4-88　"文本"驱动方式

4.3　曲面轮廓铣操作参数

曲面轮廓铣操作参数主要包括"切削参数"和"非切削参数"，下面逐一进行介绍。

4.3.1　切削参数

采用不同的加工方法，"切削参数"对话框中的选项设置不同。单击"刀轨设置"组框中的"切削参数"按钮，弹出"切削参数"对话框。下面以常用的"区域铣削"驱动方式为例，来讲解各种切削参数的含义。

1．**"策略"**

单击"切削参数"对话框中的"策略"选项卡，如图 4-89 所示。

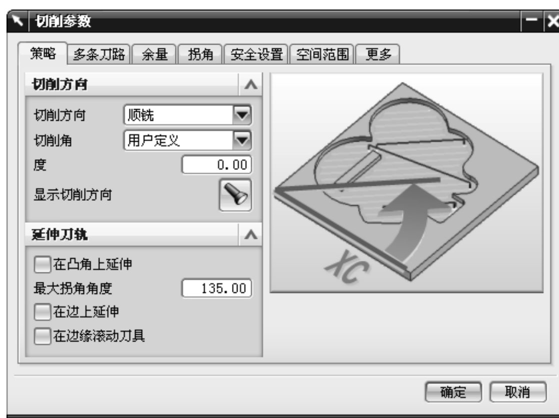


图 4-89 “策略”选项卡

“策略”选项卡主要用于对切削方向和延伸刀轨的相关参数进行设置，包括以下选项：

1）【切削方向】：用于决定刀具切削时的进给方向，包括“顺铣切削”和“逆铣切削”两个选项。顺铣切削是指刀具进给方向与工件运动方向相同，而逆铣切削是指两者相反。一般数控加工多用顺铣，有利于延长刀具的寿命并获得较好的表面加工质量。

2）【切削角】：“切削角”用于“单向”、“往复”和“单向”轮廓切削模式。在指定切削角时，该角是刀轨相对于 WCS 的 XC 轴的方向，如图 4-90 所示。

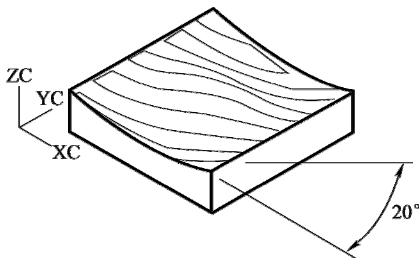
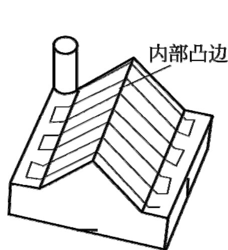


图 4-90 “往复”切削模式指定的 20° 的切削角

3）【在凸角上延伸】：为了在跨过内部凸边进行切削时，对刀轨进行额外的控制，以防止刀具驻留在这些边上。选中该选项时，刀具从部件几何体抬起一段距离至凸角顶点的高度，直接移动到凸角的另一侧，而无需执行“退刀/移刀/进刀”等非切削运动，如图 4-91 所示。此选项仅对于“固定轴曲面轮廓铣”可用。

4）【在边上延伸】：使用“在边上延伸”来加工工件周围多余的铸件材料。刀路将以相切的方式在切削区域的所有外部边缘上向外延伸，如图 4-92 所示。



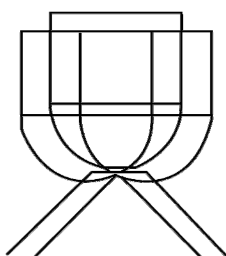


图 4-91 在凸角处延伸

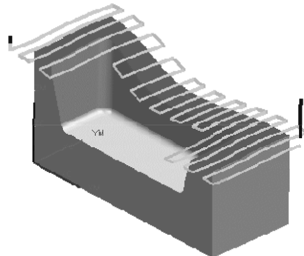


图 4-92 在边上延伸

5）【在边缘滚动刀具】："在边缘滚动刀具"是特定于轮廓铣和深度加工的切削参数。勾选"在边缘滚动刀具"复选框，以允许刀具在边缘滚动；清除该复选框，以防止刀具在边缘滚动，此时过渡刀具移动是非切削移动，则刀具在往复运动之间会退回到安全平面，如图 4-93 所示。

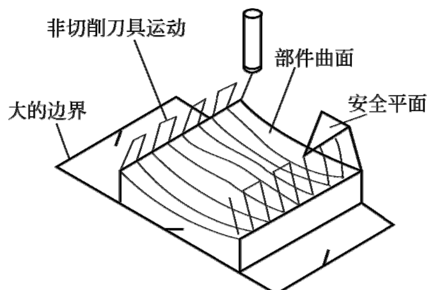


图 4-93　取消"在边缘滚动刀具"

2."**多条刀路**"

单击"切削参数"对话框中的"多条刀路"选项卡，如图 4-94 所示。

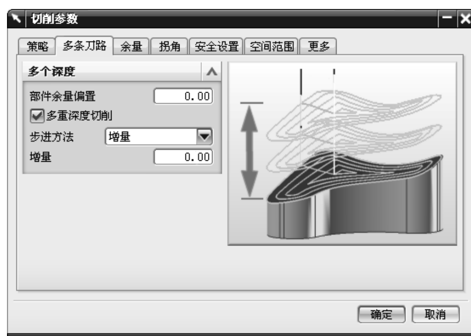


图 4-94　"多条刀路"选项卡

"多条刀路"允许沿着部件几何体的一个切削层逐层加工，以便一次移除一定量的材料，如图 4-95 所示。多层切削时，由于当刀轨轮廓远离部件几何体时，刀轨轮廓的形状会改变，因此每个切削层中的刀轨必须单独计算。计算时，每个切削层中的刀轨是垂直于部件几何体并偏置一定距离计算出"接触点"，并不仅仅是第一个刀轨的平移副本。

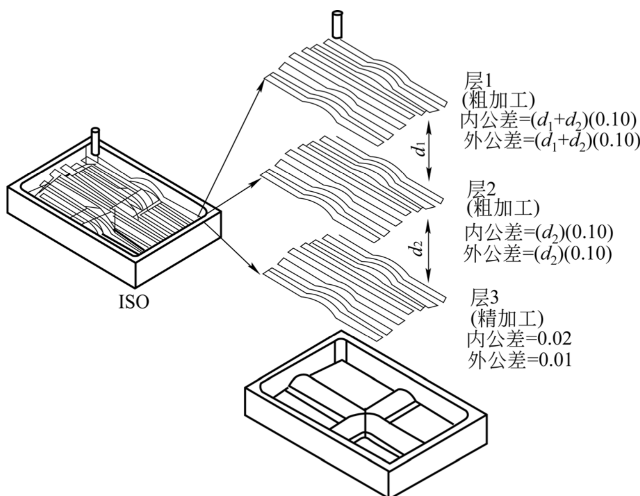


图 4-95　多层切削示意图

"多条刀路"选项适用于固定和可变轮廓铣操作，各相关参数含义如下：

（1）部件余量偏置　"部件余量偏置"用于指定在操作过程中要移出的材料

量，部件余量是操作完成后所剩余的材料量。部件余量偏置量加上部件余量等于操作开始前的材料量。部件余量偏置量是增加到工件余量的额外余量，要求必须大于或等于 0。

（2）多重深度切削

【步进方法】：指定切削层的数量，包括以下两个选项：

①〖增量〗：指定切削层之间的距离，系统默认值为部件余量偏置值。如果指定的增量不能平均分割要移除的余量偏置，则缩小上一刀路的增量。如图 4-96 所示，“部件余量偏置”值为 0.75，“增量”值为 0.30，系统计算出三条刀路：第一条刀路的切削深度是 0.30，第二条刀路的切削深度将增加 0.30，而第三条刀路将切削剩余的深度 0.15。

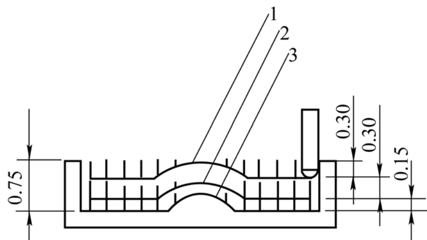


图 4-96 “增量”方式示意图

②〖刀路〗：指定切削层的数目。如果给定刀路数目，则系统会自动计算切削层间的增量。如图 4-97 所示，“部件余量偏置”值为 0.75，“刀路”数值为 2，系统自动计算出增量为 0.375。

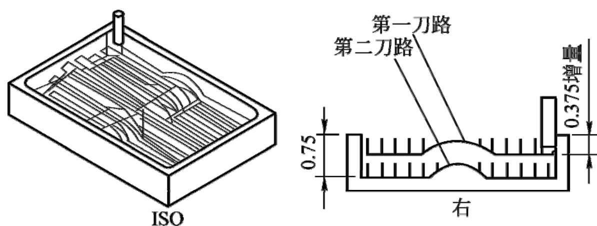


图 4-97 “刀路”方式示意图

3．**“余量”**

单击“切削参数”对话框中的“余量”选项卡，如图 4-98 所示。

“余量”选项卡各选项用于控制材料加工后的保留量，或者是各种边界的偏移量。各参数的含义如下：

1）【部件余量】：即切削余量。部件余量是零件加工后没有切除的材料量，这些材料在后续加工操作中将被切除，通常用于需要粗、精加工的场合。

2）【检查余量】：定义刀具离开检查几何体的距离。如果检查几何是工件本身不许刀具切削的部分，那么检查余量相当于这一部分的零件余量；如果检查几何是夹具零件，那么检查余量是为了防止刀具干涉夹具零件的安全距离。

3）【边界余量】：用于定义一个偏置值来控制边界上遗留下的材料量。

4）【部件内公差】和【部件外公差】：用于定义刀具偏离实际部件表面的最大距离。值越小，则加工的精度越高。

5）【边界内公差】和【部件外公差】：用于定义刀具偏离实际边界的最大距离。值越小，则加工的精度越高。

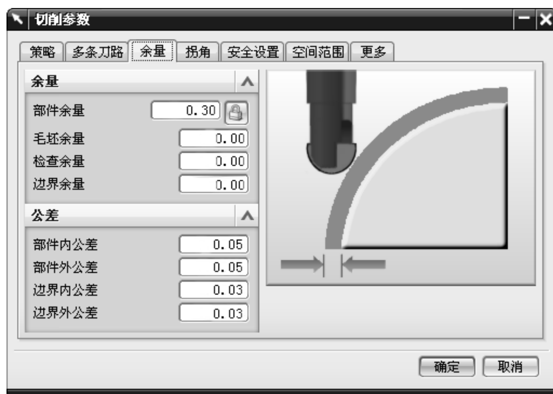


图 4-98 “余量”选项卡

4. “安全设置”

单击“切削参数”对话框中的“安全设置”选项卡，如图 4-99 所示。



图 4-99 “安全设置”选项卡

“安全设置”选项卡用于设置安全间距以及过切时的处理方式，包括以下选项。

（1）“检查几何体”组框 “检查几何体”选项用于指定切削移动期间刀具过切检查几何体时的响应方式，在“过切时”下拉列表中提供了“警告”、“跳过”和“退刀”三种方式。

1）【警告】：选择该选项，在切削运动期间，若刀具检查几何产生过切，系统产生警告信息，并将其输出到刀轨源文件，如图 4-100 所示。

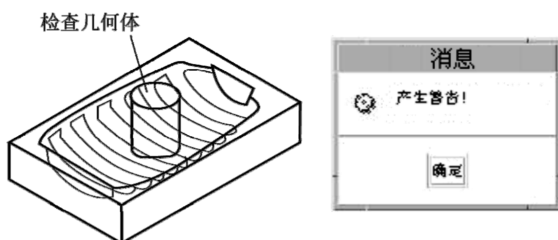


图 4-100　警告

2）【跳过】：选择该选项，在切削运动期间，若刀具检查几何产生过切，则忽略过切位置，结果将是从过切前的最后位置到不再过切时的第一个位置的直线刀具移动，如图 4-101 所示。

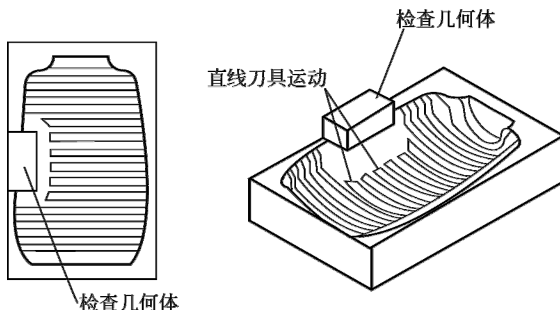


图 4-101　跳过

3）【退刀】：选择该选项，在切削运动期间，若刀具对检查几何产生过切，则利用非切削运动参数定义进刀和退刀参数，避免过切，如图 4-102 所示。

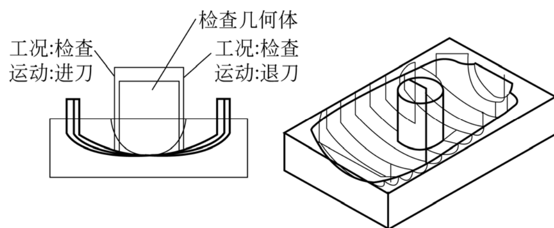


图 4-102　退刀

4）【检查安全距离】：定义刀具的自动进/退刀距离，给检查几何增加一个扩展的安全区，使刀具的刀柄上的任何部分不至于碰到检查几何上，如图 4-103 所示。

（2）“部件几何体”组框　部件安全距离是刀具在接近工件的过程中保持到工件表面的距离。从这个位置开始到切削刀轨起始点之间，从接近速度转化为进刀速度进给，用于防止刀具在接近工件时发生撞刀，如图 4-104 所示。

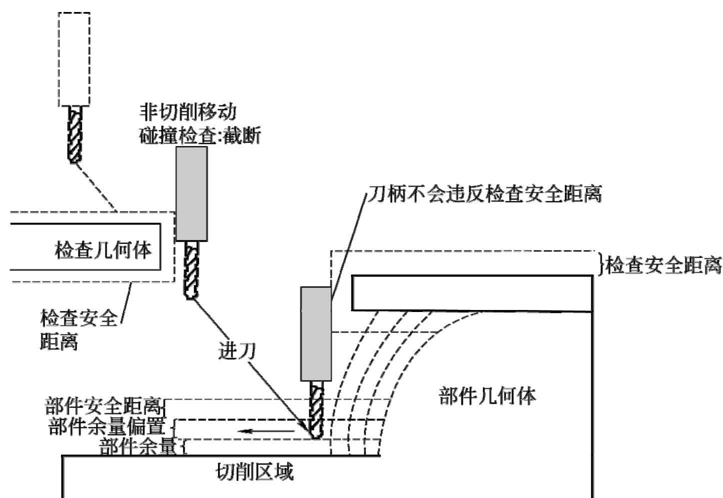


图 4-103　检查安全距离示意图

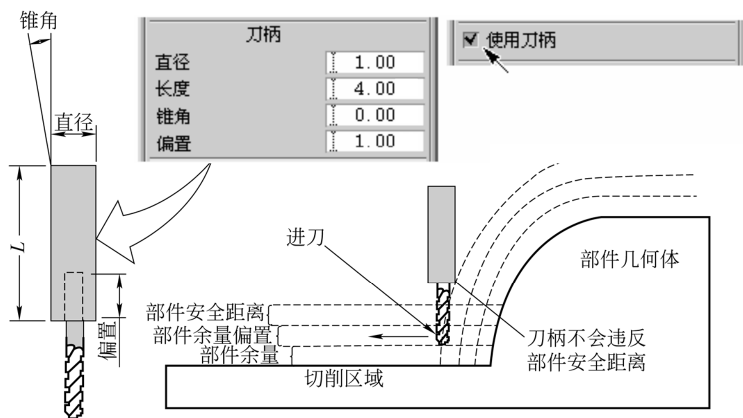


图 4-104　部件安全距离示意图

5. “空间范围”

单击“切削参数”对话框中的“空间范围”选项卡，如图 4-105 所示。

1）【使用刀具夹持器】：用于打开刀柄，当选中该选项，系统在检查干涉时，能够识别刀柄，以避免刀具和刀柄与部件几何体或检查几何体发生碰撞。

2）【使用 2D 工件】：此选项仅可用于“固定轴曲面轮廓铣”的“区域铣削”、“清根”和“深度轮廓铣”驱动方法。该选项可以与“使用刀具夹持器”选项结合使用，也可以单独使用。勾选该选项，系统搜索同一几何组中定义的前面操作中因刀柄碰撞而保存的二维工件几何，找到以后，将这些几何定义为当前操作的检查几何。

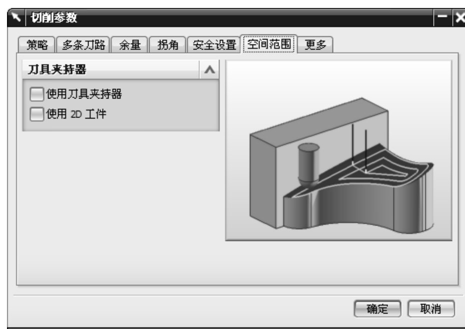


图 4-105　“空间范围”选项卡

6. “更多”

单击“切削参数”对话框中的“更多”选项卡，如图 4-106 所示。

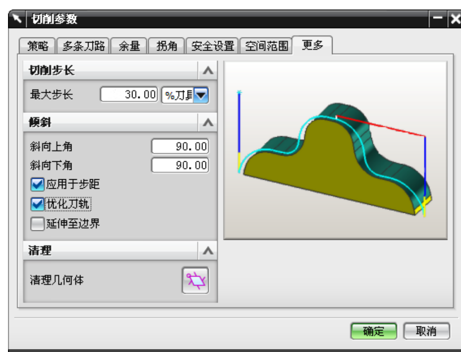


图 4-106　“更多”选项卡

（1）切削步长　“切削步长”是专用于轮廓铣的切削参数，用于控制切削方向上，刀具在零件几何上的相邻定位点之间的直线距离，如图 4-107 所示。步长越小，刀轨沿工件几何体轮廓的运动就越精确。

最大步长值太大时，生成的驱动点不够，且小特征会被忽略，如图 4-108 所示。因为特征上没有直接的驱动点，所以刀轨会经过该特征。缩小最大步长值，以创建更多的驱动点且使特征被识别，如图 4-109 所示。

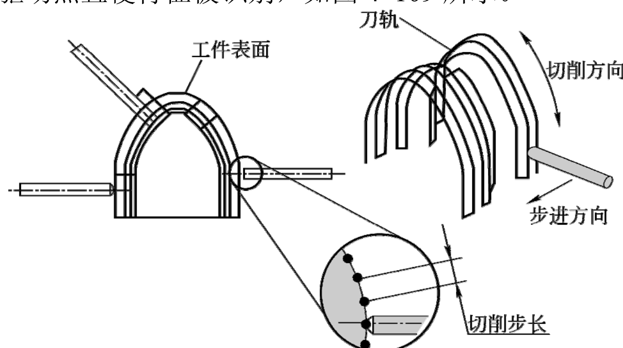


图 4-107　“切削步长”示意图

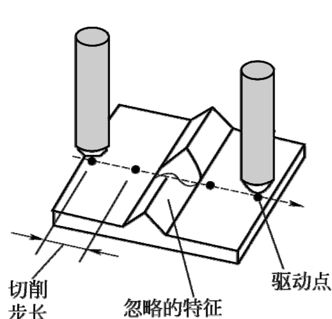


图 4-108　步长大特征已忽略

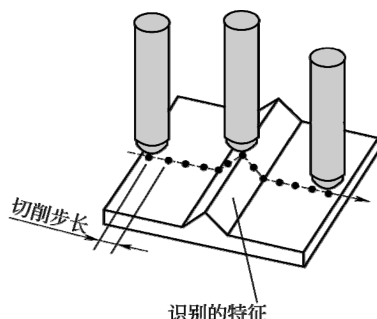


图 4-109　步长小特征被识别

（2）“斜向上角”和“斜向下角”　“斜向上角”和“斜向下角”是专用于轮廓铣的切削参数，允许指定刀具向上和向下角度的运动限制。角度是从垂直于刀轴的平面测量的。这些选项对所有驱动方式都可用，但只对“固定轴”操作可用。

1）【斜向上角】：需要输入一个从 0 到 90 的角度值。输入的值允许刀具在从零度（垂直于固定刀轴的平面）到指定值范围内的任何位置向上倾斜，如图 4-110 所示。

2）【斜向下角】：需要输入一个从 0 到 90 的角度值。输入的值允许刀具在从零度（垂直于固定刀轴的平面）到指定值范围内的任何位置向下倾斜，如图 4-111 所示。

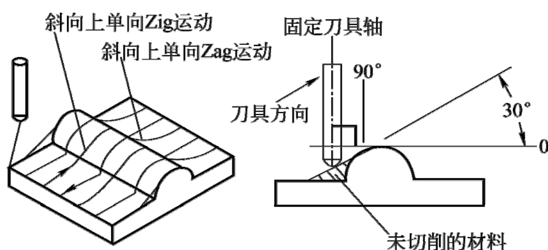


图 4-110　30°斜向上角

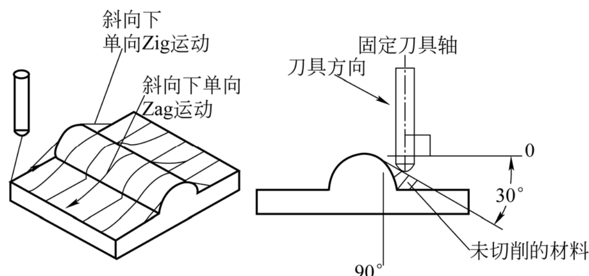


图 4-111　30°斜向下角

（3）应用于步距　“应用于步距”是专用于轮廓铣的切削参数。“应用于步距”与“斜向上角”和“斜向下角”选项结合使用，允许将指定的侧倾角度应用于步距。如

图 4-112 所示的 Zig-Zag 刀路，“斜向上角”设置为 45°，“斜向下角”设置为 90°。当打开“应用于步距”时，这些值会应用到“步距”以及 Zig-Zag 刀路中。斜向下的刀路和“步距”都受 0°～45°的角度范围限制。

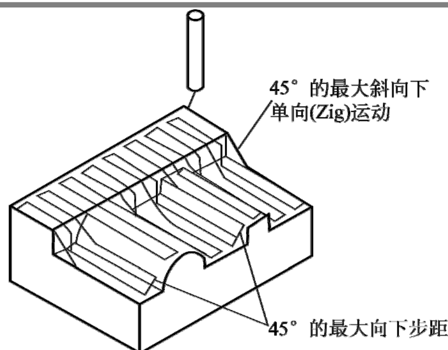


图 4-112　应用于步距

（4）优化刀轨　“优化刀轨”是专用于轮廓铣的切削参数，此选项可使系统在将“斜向上角”和“斜向下角”与 Zig 刀路或 Zig-Zag 刀路结合使用时优化刀轨。优化意味着在保持刀具与工件尽可能接触的情况下，计算刀路并最小化刀路之间的非切削移动。仅当“斜向上角”为 90°且“斜向下角”为 0°～10°时，或当“斜向上角”为 0°～10°且“斜向下角”为 90°时，此功能才可用。

4.3.2　非切削移动

一个操作的刀具运动分为两部分：一部分是刀具切入工件之前或离开工件之后的刀具运动，称为非切削移动；另一部分是刀具去除零件材料的切削移动，如图 4-113 所示。刀具切削零件时，由零件几何形状决定刀具路径，而在非切削移动中，刀具路径则由“非切削移动”参数控制。

单击“刀轨设置”组框中的“非切削移动”按钮，弹出“非切削移动”对话框，如图 4-114 所示。

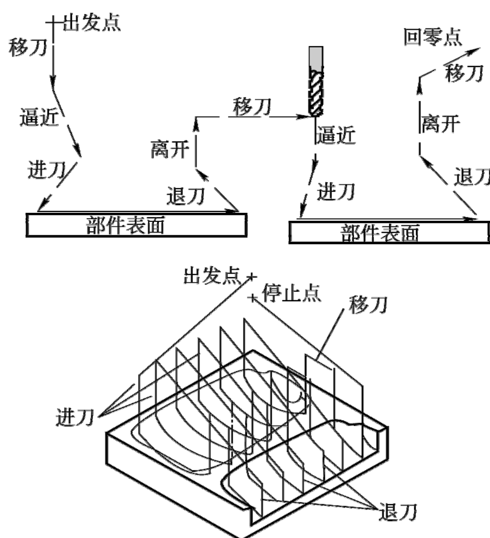


图 4-113　刀具的“非切削移动”示意图

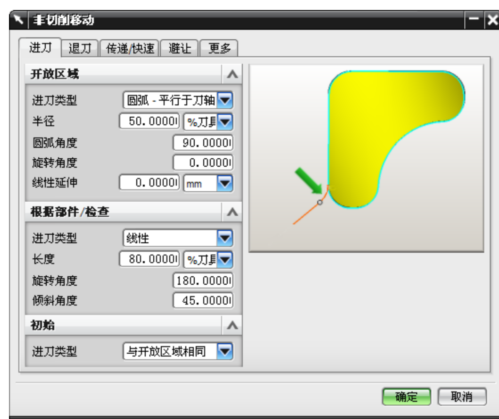


图 4-114　“非切削移动”对话框

1．“进刀”选项卡

1）【开放区域】：开放区域是指刀具在当前切削层可以凌空进入的区域。刀具在开放区域的“进刀类型”包括以下选项：

①〖线性〗：刀具将沿直线进刀，如图 4-115 所示。“旋转角度”是与部件表面相切的平面中，从第一个接触点开始测量的。如果旋转角度为正数，则会使该运动背离部件壁；如果有多条刀路，那么在旋转角度为正数时，还会使该运动背离下一个切削运动。当部件不可用时，正旋转角度会使该运动向右旋转；如果指定负旋转角度，则会沿着相反的方向旋转，以便相对于切平面来镜像该运动。“倾斜角度”将旋角矢量从与部件表面相切的平面提升一定的高度。如果旋转角度为正数，则会朝着刀轴向上运动；如果旋转角度为负数，则会背离刀轴向下运动。

②〖线性-沿矢量〗：刀具将沿指定的方向直线进刀，如图 4-116 所示。

③〖线性-垂直于部件〗：刀具将沿垂直于部件的方向直线进刀。

④〖圆弧-与刀轴平行〗：利用进刀矢量和切削矢量来定义一个包含圆弧刀具运动的平面，圆弧运动总是与切削矢量相切，如图 4-117 所示。

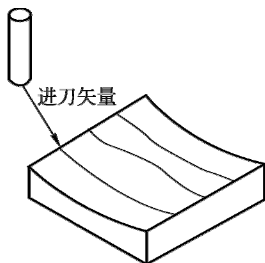


图 4-115　“线性”进刀方式

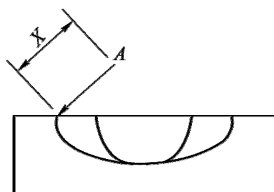


图 4-116　“线性-沿矢量”进刀方式

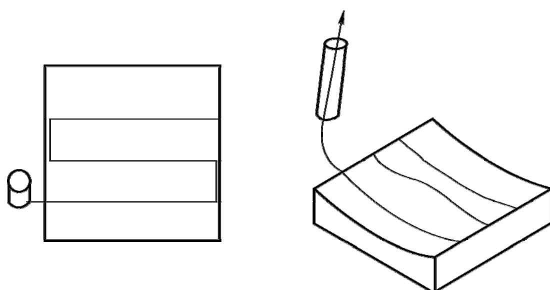


图 4-117 “圆弧-与刀轴平行”进刀方式

⑤〖圆弧-垂直于刀轴〗：进刀运动平面由垂直于刀轴的平面来定义，其中包含圆弧刀具运动，弧的末端垂直于刀轴，但是不必与切削矢量相切，如图 4-118 所示。

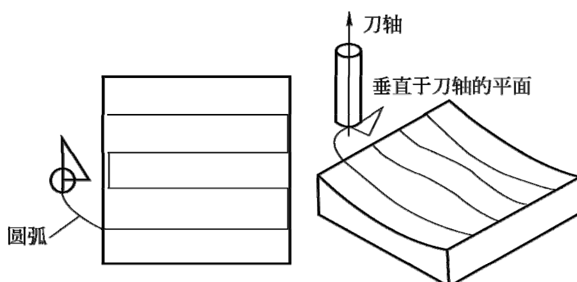


图 4-118 “圆弧-垂直于刀轴”进刀方式

⑥〖圆弧-相切逼近〗：使用逼近运动终点处的相切矢量和切削矢量定义包含圆弧刀具运动的平面。在逼近运动的末端创建圆弧运动，圆弧运动与切削矢量和逼近运动都相切，如图 4-119 所示。

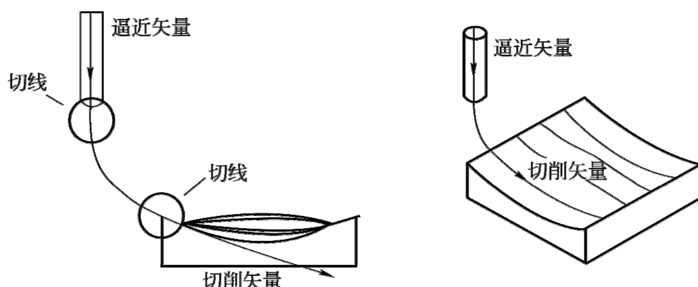


图 4-119 “圆弧-相切逼近”进刀方式

⑦〖圆弧-垂直于部件〗：使用部件法向和切削矢量来定义包含圆弧刀具运动的平面。圆弧运动与切削矢量和分离运动都相切，如图 4-120 所示。

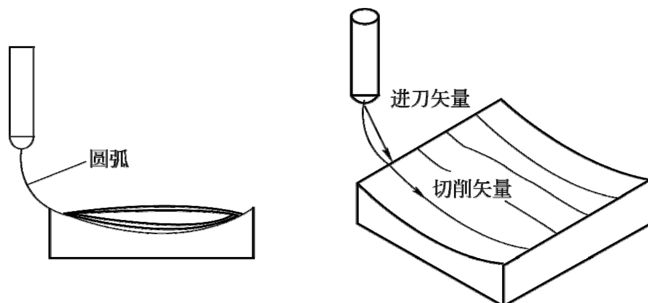


图 4-120 “圆弧-垂直于部件”进刀方式

⑧〖点〗：将通过选择的点来控制进刀路径。

⑨〖顺时针螺旋和逆时针螺旋〗：在固定轴下降到材料中时，创建按圆形倾斜的进刀。螺旋的中心线始终平行于刀轴。此选项最好与允许进刀轴周围存在足够材料的“跟随腔体”或“同心弧”等切削方式一起使用，以避免过切边界壁或检查曲面。如果提供了部件几何体，则“螺旋线”使用螺旋状的逆铣，如图 4-121 所示；如果未提供部件几何体，则“螺旋线”使用在该对话框中指定的顺时针或逆时针。

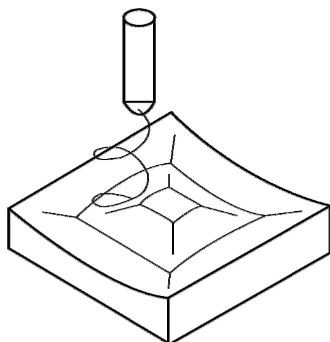


图 4-121　顺时针螺旋和逆时针螺旋

倾斜角度指定螺旋线进刀的陡峭度，系统可能会稍微减小所指定的倾斜角度，以创建完整的螺旋线旋转。该角度参照垂直于螺旋中心线的平面，如图 4-122 所示。

⑩〖插削〗：将指定竖直进刀。

⑪〖无〗：不创建进刀移动。进刀移动（如果需要）直接与切削移动相连。

2）【根据部件/检查】：当进刀点或退刀点延伸相切可能会出现过切或碰撞时，则在该处应用“根据部件/检查”。

3）【初始】：控制刀具初始移动到第一个区域切削区域/层的进刀运动。

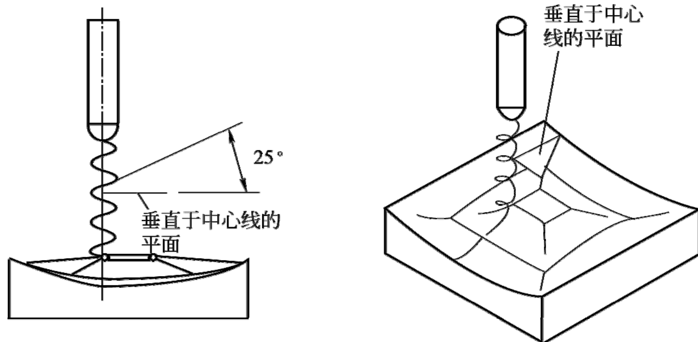


图 4-122　25°的最大倾斜角度

2. “退刀”选项卡

单击“非切削移动”对话框中的“退刀”选项卡，出现如图 4-123 所示的对话框。用户可设置刀具退刀的运动方式。

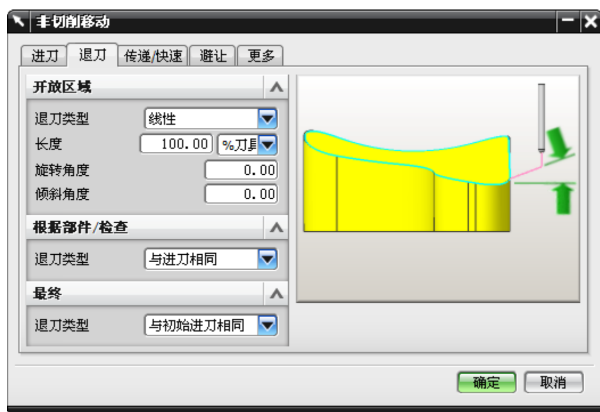


图 4-123 “退刀”选项卡

【最终】：控制刀具在每个切削区的最后一层切削刀轨结束处的退刀点及其退刀运动。

3. “传递/快速”选项卡

单击“非切削移动”对话框中的“传递/快速”选项卡，如图 4-124 所示。用户可设置安全平面、刀具在不同切削区域之间、刀具在相同切削区域的运动方式。

1）【区域距离】：用于控制两个切削区域之间的间距。

2）【公共安全设置】：用于定义安全平面的位置，如图 4-125 所示。“安全设置选项”组框包括以下七个选项：



图 4-124 “传递/快速”选项卡

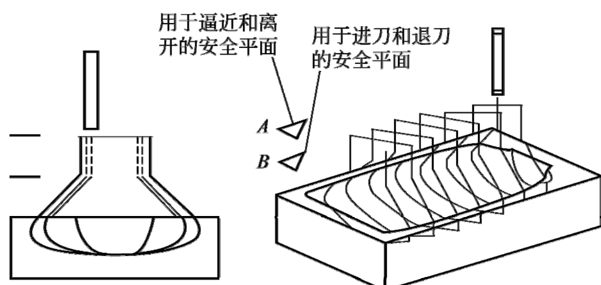


图 4-125 “安全平面”示意图

①〖使用继承的〗：使用在机床坐标系 MCS 中设置的安全平面。

②〖无〗：不使用安全平面。

③〖自动〗：从工件上表面开始，向上在“安全距离”文本框所设定距离处进行安全设置。

④〖平面〗：安全平面是指定离工件一定距离定义一个平面，该平面不仅可以控制刀具的非切削运动，而且还可以避免刀具在工件上移动时与工件相碰。

⑤〖点〗：用于将关联或非关联的点指定为安全几何体，如图 4-126 所示。

⑥〖圆柱〗：用于输入半径值、指定中心点并指定圆柱轴的矢量来将圆柱指定为安全几何体，如图 4-127 所示。此圆柱的长度是无限的。

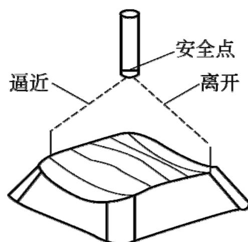
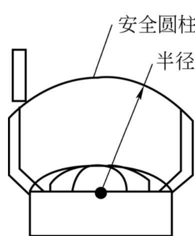


图 4-126　用于逼近和离开的安全点



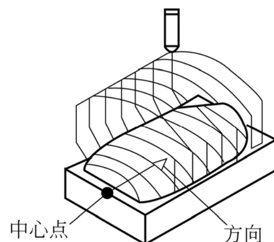


图 4-127　用于逼近和离开的安全圆柱

⑦〖球〗：用于输入半径值和指定中心点来将球指定为安全几何体，如图 4-128 所示。

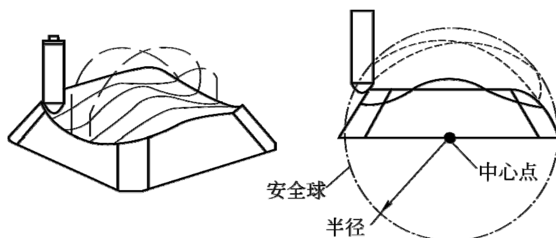


图 4-128　用于进刀和退刀的安全球

3）【区域之间】和【区域内】：“区域之间”用于控制不同切削区域（部件上不同区域）之间的逼近、移刀、离开。逼近和离开可以使刀具快速地从部件的一端走到另一端并避免碰撞部件表面，进刀和退刀移动使用更低的进给率并保持最小值。“区域内”控制切削特征层之间材料的逼近、移刀、离开，如图 4-129 所示。

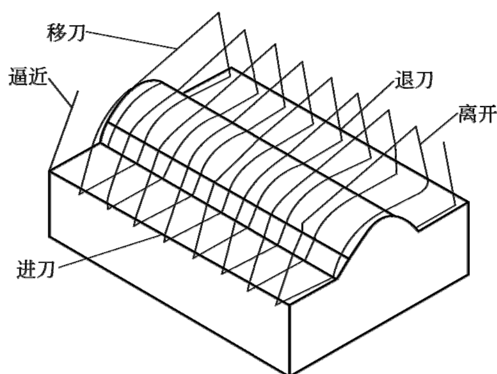


图 4-129 逼近、移刀和离开

① 〖逼近和离开〗：用于设置逼近和离开运动方式，包括以下选项：

a. 〖无〗：系统采用自定义的隐含安全平面来设置逼近和离开运动。安全距离是由“安全距离”（“切削参数”对话框）与部件偏置距离之和定义的，如果未定义工件几何体，则以驱动曲面为参照来确定自动安全平面的位置，如图 4-130 所示。

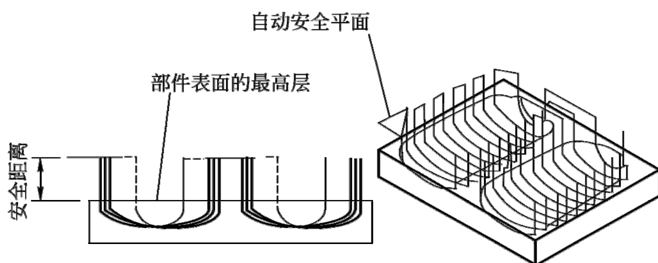


图 4-130 自动安全平面

b. 〖沿刀轴〗：刀轴使逼近或离开矢量的方向与刀轴一致，如图 4-131 所示。

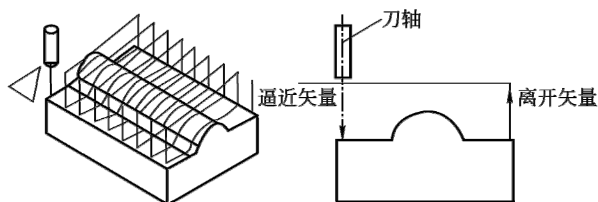


图 4-131 沿刀轴

c. 〖沿矢量〗：用矢量子功能将逼近或离开矢量指定为任何所需的方位，如图 4-132 所示。

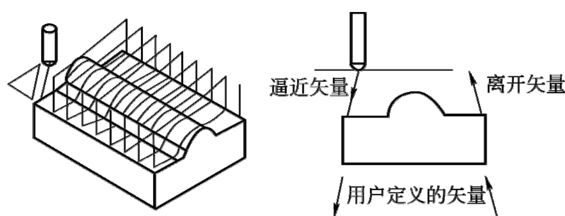


图 4-132　使用安全平面时的矢量逼近和离开

②〖移刀〗：用于设置区域间刀具的移动方式，包括以下选项：

a.〖间隙〗：采用“间隙”组框中的“安全设置”选项，通常为“安全平面”方式。刀具在安全平面或垂直安全距离的高度上作横越运动，如图 4-133 所示。

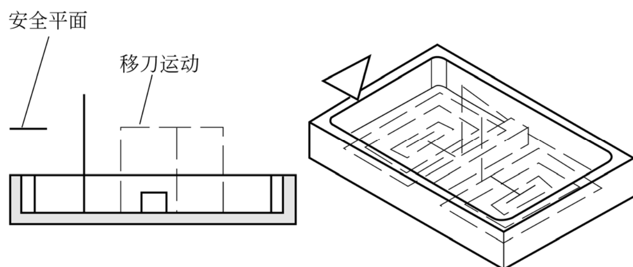


图 4-133　间隙移刀方式

b.〖最小安全值 Z〗：通过指定最小的距离设置横越运动的高度，此方式优于“直接”，如图 4-134 所示。

c.〖直接〗：刀具从当前位置直接移动到下一区域的进刀点，如果没有定义进刀点，就是切削起始点，如图 4-135 所示。该方式不考虑与零件几何体的干涉，因此可能撞刀，必须小心使用。

4）【初始的和最终的】：控制操作的初始移动到第一切削区域/层，并使操作的最终移动远离最后一个切削位置。

①〖逼近〗：到第一切削层操作的初始移动遵循逼近传递顺序，其选项参数与前面的相同。

②〖离开〗：操作的最终移动遵循离开传递顺序，其选项参数与前面的相同。

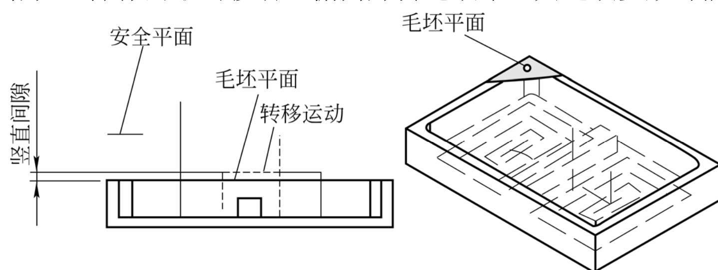


图 4-134　最小安全值 Z

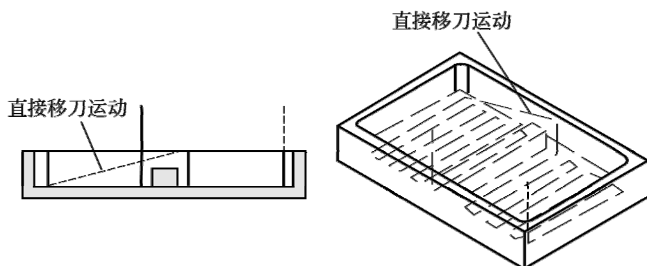


图 4-135　直接移刀方式

4．“避让”选项卡

单击“非切削移动”对话框中的“避让”选项卡，出现如图 4-136 所示的对话框。



图 4-136　“避让”选项卡

“避让”选项是控制刀具在切削前和切削后的非切削移动的位置，由“出发点”、“起点”、“返回点”和“回零点”组成，如图 4-137 所示。但在一般情况下，只需定义“出发点”和“回零点”，即可以防止刀具干涉工件。

1）【出发点】：“出发点”用于指定刀具在开始运动前的刀具初始位置。如果没有指定出发点，系统把刀具第一加工运动的起刀点作为刀具的初始点。

2）【起点】：起点是刀具运动的第一个目标点。如果定义了初始点，刀具以直线运动方式从出发点快速移动到起点；如果还定义了安全平面，则由起刀点竖直向上，在安全平面上取一点，刀具以直线运动方式从出发点快速移动到该点，然后从该点快速移动到起点。

3）【返回点】：返回点是指离开零件时的运动目标点。当完成切削移动后，刀具以直线运动方式从最后切削点或退刀点快速移动到返回点。如果定义了安全平面，由最后切削点或退刀点竖直向上，在安全平面上取一点，刀具以直线运动方式从最后切削点或退刀点快速移动到该点。返回点应该设置在安全平面之上。

4）【回零点（停止点）】：回零点是刀具的最后停止位置。常用出发点作为回

零点，刀具以直线运动方式从返回点快速移动到回零点，包括“无”、“与起点相同”、“回零-没有点”和“指定”四种。

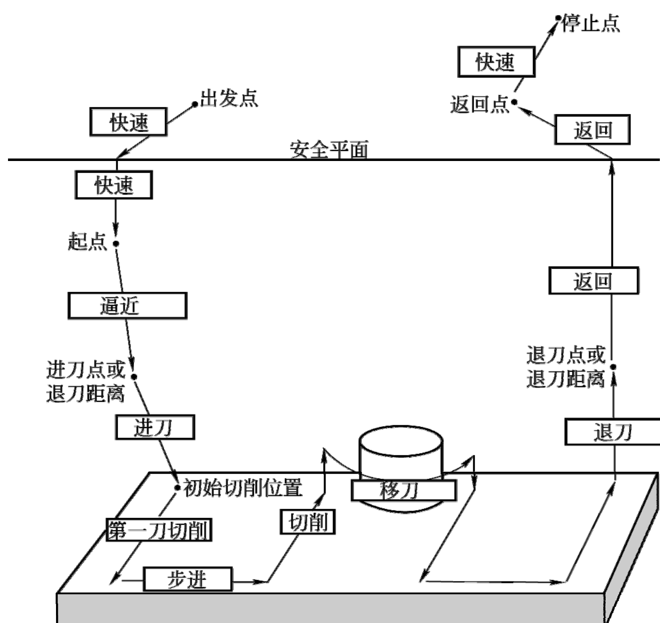


图 4-137　“常用避让几何”示意图

5. “更多”选项卡

单击“非切削移动”对话框中的“更多”选项卡，出现如图 4-138 所示的对话框，其参数说明如下。

1）【碰撞检查】：勾选“碰撞检查”复选框，可检测与部件几何体和检查几何体的碰撞。如果原移动过切，则可避免碰撞；如果不能进行无过切移刀运动，则会发出警告，如图 4-139 所示。

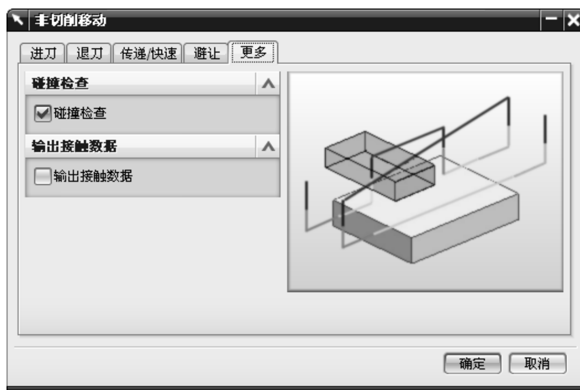


图 4-138　“更多”选项卡

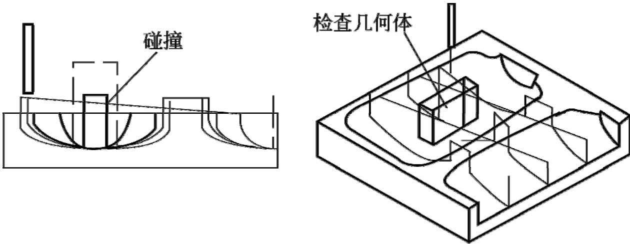


图 4-139 “碰撞检查”示意图

2）【输出接触数据】：用于在刀轨输出刀具和工件加工中的接触点、接触法向和接触中心。接触点是刀接触部件的地方。接触法向是一个单位矢量，它在接触点直接指向远离部件的方向。接触中心是球头铣刀的球心，如图 4-140 所示。

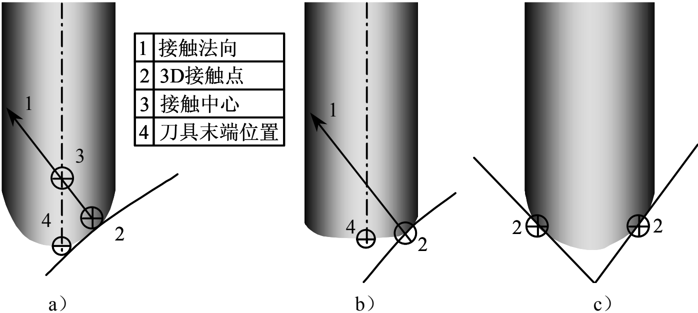


图 4-140 “输出接触数据”示意图

a）使用球头铣刀时的输出 b）使用外圆刀时的输出 c）具有多个接触点的刀具位置

4.4 本章小结

轮廓铣高速加工的主要内容包括驱动方法、操作参数、刀轴矢量与投影矢量。限于篇幅，刀轴矢量与投影矢量没有进行具体介绍，有兴趣的读者可以参阅相关书籍学习。与平面铣和型腔铣相比，轮廓铣加工的主选项不多，但是子选项卡比较繁琐，学习和使用比较起来复杂，建议读者多温习理解，以巩固学习成效。

第 5 章　UG NX 7.0 薄板支架高速加工实例

从本章起进入高速加工实例的学习，首先讲解 UG 平面铣高速加工的应用。平面铣适合加工整个形状由平面和与平面垂直的面构成的零件。本章介绍的支架零件如图 5-1 所示。零件主要由直壁组成，壁厚很小，一般为 1.5mm。材料为铝合金，表面加工粗糙度值为 Ra0.8μm，工件底部安装在工作台上。

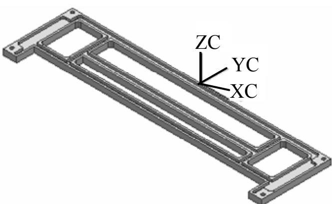


图 5-1　薄板支架零件

5.1　加工方法分析

按照高速加工精度要求，薄板支架的加工分粗加工和精加工两个工序完成。具体高速铣削加工参数如表 5-1 所示。

（1）粗加工　采用跟随轮廓平面铣加工，刀具为直径 D5R1 圆角刀，走刀方式为“跟随部件”，侧吃刀量为“50”并选择“%刀具直径”，背吃刀量 1.25mm，顺铣加工，进退刀方式为“螺旋”方式。

（2）精加工　采用轮廓平面铣加工，刀具为直径 D1.5R0.1 圆角刀，背吃刀量 0.12mm，顺铣加工，进退刀方式为“螺旋”方式。

（3）凹槽精加工　采用摆线方式的轮廓平面铣加工，刀具为直径 D1.5R0.12 圆角刀，背吃刀量 0.06mm，顺铣加工，进退刀方式为“螺旋”方式。

表 5-1　薄板支架加工切削参数

刀具直径/mm	刀　齿　数	背吃刀量/mm	侧吃刀量/mm	主轴转速 n/（r/min）	进给率/（mm/min）	加　工　方　式
5	2	1.25	2.5	60000	18000	粗加工
1.5	2	0.06	0.75	60000	4800	精加工

5.2 加工流程与效果图

薄板支架数控加工具体的设计流程和效果图如表 5-2 所示。

表 5-2 薄板支架数控加工具体的设计流程和效果图

步骤	设计知识点	设计流程效果图
Step 1： 打开文件，进入加工环境	数控加工环境是指进入 UG NX 的制造模块后进行编程作业的软件环境，选择平面铣（mill_planar）	加工环境 CAM 会话配置 cam_general cam_library cam_part_planner_library cam_teamcenter_library feature_machining hole_making hole_making_mw lathe 浏览配置文件 要创建的 CAM 设置 mill_planar mill_contour mill_multi-axis drill hole_making turning wire_edm probing 浏览设置部件 确定 取消
Step 2： 创建几何组	创建几何是在零件上定义要加工的几何对象和指定零件在机床上的加工方位	ZM ZC YM YC XC XM
Step 3： 创建刀具组	创建加工所需的加工刀具	L FL R D A B R D
Step4： 创建加工方法组	加工方法通过对加工余量、几何体的内外公差等设置，为粗加工、半精加工和精加工设定统一的参数	铣削方法 余量 部件余量 0.00 公差 内公差 0.0005 外公差 0.0005 确定 取消
Step5： 创建平面粗加工	平面铣在加工过程中产生水平 XY 方向的 2 轴联动，必须设置相关参数以适应高速加工	ZM ZC YM YC XC XM
Step6： 创建平面铣精加工	利用平面铣加工的轮廓铣削模板进行加工，并设置相关参数以适应高速加工	ZM ZC YM YC XC XM

（续）

步骤	设计知识点	设计流程效果图
Step7：创建摆线平面铣精加工	利用摆线方式平面铣加工，可避免刀具埋入切削材料限制刀具步距的提高	ZM ZC YM YC XC XM

5.3　具体操作步骤

5.3.1　初始化加工环境

1．打开模型文件

启动 UG NX 7.0 后，单击“标准”工具栏上的“打开”按钮，打开“打开部件文件”对话框，选择“baobanzhijia.prt”（“随书光盘：\Chapter05\uncompleted\baobanzhijia.prt”），单击“OK”按钮，文件打开后如图 5-2 所示。

2．进入加工模块

单击“标准”工具栏上的“起始”按钮起始，在弹出的下拉菜单中选择“加工”命令，弹出“加工环境”对话框。然后在“CAM 会话配置”中选择“cam_general”，在“要创建的 CAM 设置”中选择“mill_planar”，单击“确定”按钮，初始化加工环境，如图 5-3 所示。

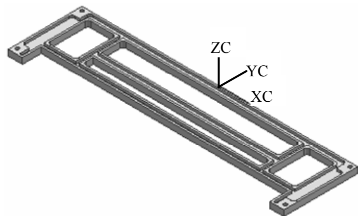


图 5-2　打开的模型文件



图 5-3　“加工环境”对话框

5.3.2　创建加工父级组

单击“导航器”工具栏上的“几何视图”按钮，将“操作导航器”切换到

几何视图显示。

1．**创建加工几何组**

1）设置安全平面，具体操作步骤如下：

① 双击“操作导航器”窗口中的“MCS_MILL”图标，弹出“Mill Orient”对话框，如图 5-4 所示。在“Mill Orient”对话框中，在“安全设置”组框中的“安全设置选项”下拉列表中选择“平面”选项，然后单击“选择安全平面”按钮，弹出“平面构造器”对话框。

② 在如图 5-5 所示的“平面构造器”对话框中选择“XC-YC”图标，在“偏置”文本框中输入“30.00”，将安全平面设置相对于 XC-YC 平面的距离为 30.00mm。单击“确定”按钮，在图形区会显示安全平面所在的位置，如图 5-6 所示。



图 5-4 “Mill Orient”对话框



图 5-5 “平面构造器”对话框

2）创建部件几何，具体步骤如下：

① 在“操作导航器”中双击“WORKPIECE”图标，弹出“铣削几何体”对话框，如图 5-7 所示。

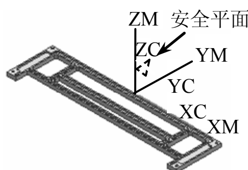


图 5-6 显示安全平面的位置



图 5-7 “铣削几何体”对话框

② 单击“几何体”组框中“指定部件”选项后的“选择或编辑部件几何体”按钮，弹出“部件几何体”对话框。单击“全选”按钮，选择所有的实体，如图 5-8 所示。单击“确定”按钮，返回“铣削几何体”对话框。

③ 单击“几何体”组框中“指定毛坯”选项后的“选择或编辑毛坯几何体”按钮，弹出“毛坯几何体”对话框。选择在图层 10 上的毛坯作为实体，如图 5-9 所示。连续单击“确定”按钮，完成毛坯设置。

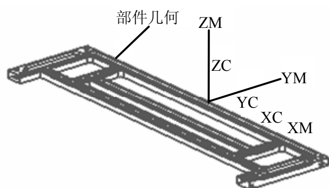


图 5-8　选择部件几何

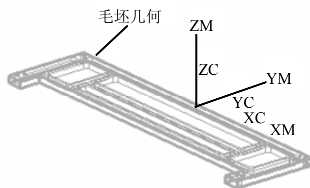


图 5-9　选择毛坯几何

2. **创建刀具组**

单击“导航器”工具栏上的“机床视图”按钮，操作导航器切换到机床刀具视图。

1）创建直径为 5 的圆角刀，具体操作步骤如下：

① 单击“加工创建”工具栏上的“创建刀具”按钮，弹出“创建刀具”对话框。在“类型”下拉列表中选择“mill_planar”，“刀具子类型”选择“MILL”图标，在“名称”文本框中输入“D5R1”，如图 5-10 所示。单击“创建刀具”对话框中的“确定”按钮，弹出“铣刀 5-参数”对话框。

② 在“铣刀 5-参数”对话框中设定“直径”为 5.00，“底圆角半径”为 1.00，其他参数设置如图 5-11 所示。单击“确定”按钮，完成刀具创建。

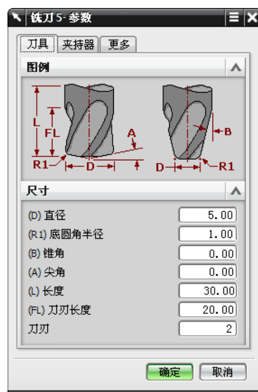


图 5-10 “创建刀具”对话框

2）创建直径为 D1.5R0.1 的圆角刀，具体操作步骤如下：

① 单击“加工创建”工具栏上的“创建刀具”按钮，弹出“创建刀具”对话框。在“类型”下拉列表中选择“mill_planar”，“刀具子类型”选择“MILL”图标，在“名称”文本框中输入“D1.5R0.1”，如图 5-12 所示。单击“创建刀具”对话框中的“确定”按钮，弹出“铣刀 5-参数”对话框。

② 在“铣刀 5-参数”对话框中设定“直径”为 1.50，“底圆角半径”为 0.10，其他参数设置如图 5-13 所示。单击“确定”按钮，完成刀具创建。





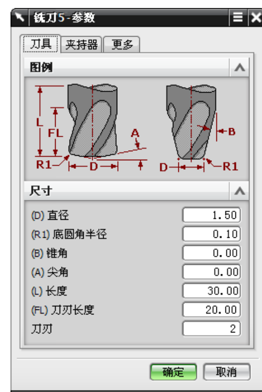


图 5-11　“铣刀 5-参数”对话框　图 5-12　“创建刀具”对话框　图 5-13　“铣刀 5-参数”对话框



提示

在高速粗加工中，最好选择圆角刀。由于平底立铣刀在切削时，刀尖部位产生流屑干涉，切屑变形大，同时有效切削刃长度最短、刀尖受力大、切削温度高，导致快速磨损。

3．设置加工方法组

单击“操作导航器”工具栏上的“加工方法视图”按钮，操作导航器切换到加工方法视图。

1）双击“操作导航器”中的“MILL_ROUGH”图标，弹出“铣削方法”对话框。在“部件余量”文本框中输入“0.03”，“内公差”和“外公差”中输入“0.005”，如图 5-14 所示。单击“确定”按钮，完成粗加工方法设定。



图 5-14　粗加工方法设定

2）双击“操作导航器”中的“MILL_FINISH”图标，弹出“铣削方法”对话框。在“部件余量”文本框中输入“0.00”，“内公差”和“外公差”中输入“0.0005”，如图 5-15 所示。单击“确定”按钮，完成精加工方法设定。



图 5-15　精加工方法设定



提示

高速精加工中，刀具切削留下的尖峰高度必须是最小的，应该设置很小的内外公差。虽然这样处理增加加工程序的代码数量，但是将极大地减少精加工后手工打磨的工作量。

5.3.3　内腔平面铣粗加工

单击“操作导航器”工具栏上“程序顺序视图”按钮，操作导航器切换到程序视图。

1．创建操作

1）单击“插入”工具栏上的“创建操作”按钮，或选择下拉菜单“插入”→“操作”命令，弹出“创建操作”对话框。在“创建操作”对话框中的“类型”下拉列表中选择“mill_planar”，“操作子类型”选择第 1 行第 6 个图标（ROUGH_FOLLOW），“程序”选择“NC_PROGRAM”，“刀具”选择“D5R1”，“几何体”选择“WORKPIECE”，“方法”选择“MILL_ROUGH”，在“名称”文本框中输入“ROUGH_FOLLOW”，如图 5-16 所示。



图 5-16　“创建操作”对话框

2）单击“确定”按钮，弹出“跟随轮廓粗加工”对话框，如图 5-17 所示。



图 5-17“跟随轮廓粗加工”对话框

2．创建平面铣几何

1）单击“几何体”组框中“指定部件边界”选项后的“选择或编辑部件边界”按钮，弹出“创建边界”对话框。

① 在“类型”下拉列表中选择“曲线/边”选项，弹出“创建边界”对话框，设置相关参数如图 5-18 所示。

② 在图形区选择如图 5-19 所示的边线作为部件边界几何，然后单击“创建下一个边界”按钮。



图 5-18　“创建边界”对话框

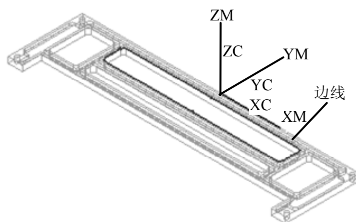


图 5-19　选择部件边界

③ 在“类型”下拉列表中选择“曲线/边”选项，弹出“创建边界”对话框，设置相关参数如图 5-20 所示。在图形区选择如图 5-21 所示的边线作为部件边界

几何，然后单击“创建下一个边界”按钮。

④ 在“类型”下拉列表中选择“曲线/边”选项，弹出“创建边界”对话框，设置相关参数如图 5-22 所示。在图形区选择如图 5-23 所示的边线作为部件边界几何，然后单击“创建下一个边界”按钮。

⑤ 在“类型”下拉列表中选择“曲线/边”选项，弹出“创建边界”对话框，设置相关参数如图 5-24 所示。在图形区选择如图 5-25 所示的边线作为部件边界几何，然后单击“创建下一个边界”按钮。



图 5-20 “创建边界”对话框一

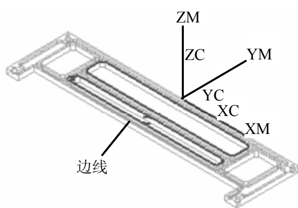


图 5-21 选择部件边界一



图 5-22 “创建边界”对话框二

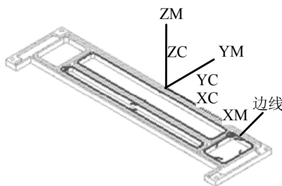


图 5-23 选择部件边界二



图 5-24 “创建边界”对话框三

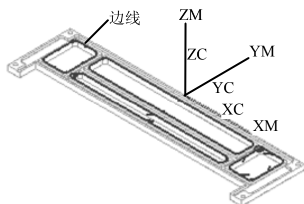


图 5-25 选择部件边界三



提示

对于不同类型的边界，其内外侧的定义不同，如作为部件边界使用时，其材料侧为保留部分；作为毛坯边界时使用时，其材料侧为切除部分。

2）单击“几何体”组框中单击“指定底面”后的“选择或编辑底面几何体”按钮，弹出“平面构造器”对话框，选择“XC-YC”图标，在“偏置”文本框中输入“-6.00”，将底面设置相对于 XC-YC 平面的距离为-6.00mm，如图 5-26 所示。单击“确定”按钮，返回“跟随轮廓粗加工”对话框。

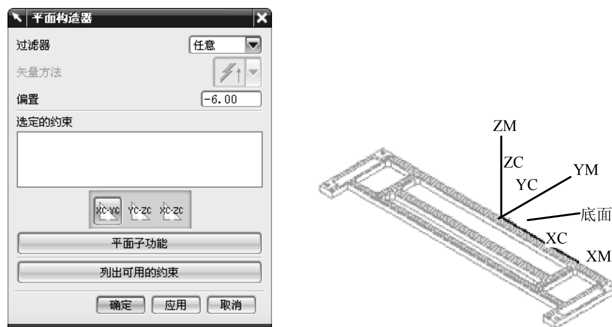


图 5-26　选择底面



提示

底面是一个垂直于刀具轴的平面，它用于指定平面铣的最低高度。定义底面后，其余切削平面平行于底面而产生。

3．选择切削模式和设置切削用量

在“跟随轮廓粗加工”对话框的“刀轨设置”组框中进行“切削模式”和“切削参数”的设置，如图 5-27 所示。

1）选择切削模式：在“切削模式”下拉列表中选择“跟随部件”方式。

2）设置切削步进：在“步距”下拉列表中选择“%刀具平直”，在“平均直径百分比”文本框中输入“50.00”。

3）设定切削深度：单击“切削层”按钮，弹出“切削深度参数”对话框，选择“类型”为“用户定义”选项，“最大值”和“最小值”为“1.25”，其他参数如图 5-28 所示。单击“确定”按钮，返回“跟随轮廓粗加工”对话框。



图 5-27　“切削模式”和“切削参数”的设置

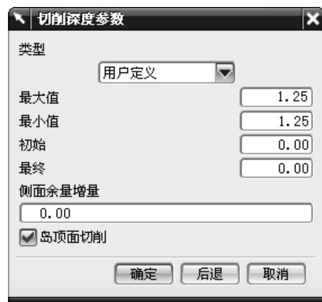


图 5-28　“切削深度参数”对话框



提示

高速加工的特点是高转速、小切深、大进给，故应该设置步距（侧吃刀量）和切削深度（背吃刀量）小一些，以保证刀具恒定切削条件。

4. 设置切削参数

在“跟随轮廓粗加工”对话框中，单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框，进行切削参数设置。

1）“策略”选项卡：“切削方向”为“顺铣”，“切削顺序”为“层优先”，其他参数设置如图 5-29 所示。



图 5-29 “策略”选项卡

2）“拐角”选项卡：“凸角”为“绕以下对象滚动”，“光顺”为“所有刀路”，其他参数设置如图 5-30 所示。

3）“连接”选项卡：“区域排序”为“优化”，其他参数设置如图 5-31 所示。

4）单击“切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成切削参数设置。

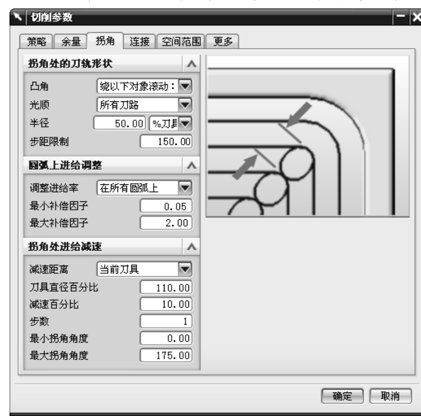


图 5-30 “拐角”选项卡

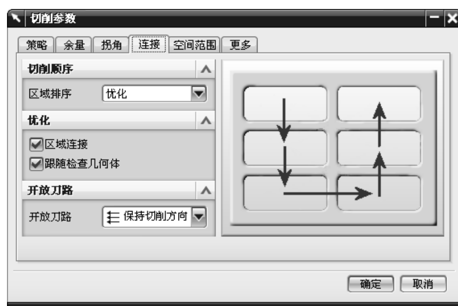


图 5-31 “连接”选项卡

5. 设置非切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“非切削参数”按钮，弹出“非切削移动”对话框，进行切削参数设置。

1）“进刀”选项卡：“进刀类型”为“螺旋线”，“直径”为“90.00”，“最小安全距离”为“0.005”，其他参数设置如图 5-32 所示。

2）“退刀”选项卡：“退刀类型”为“与进刀相同”，其他参数设置如图 5-33

所示。

3）“开始/钻点”选项卡：“重叠距离”为“1.00”，其他接受默认设置，如图 5-34 所示。

4）“传递/快速”选项卡：“传递类型”为“前一平面”，其他参数设置如图 5-35 所示。

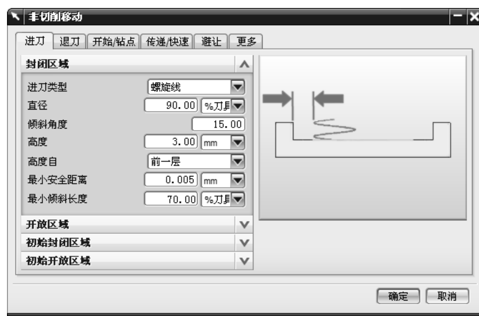


图 5-32　“进刀”选项卡



图 5-33　“退刀”选项卡

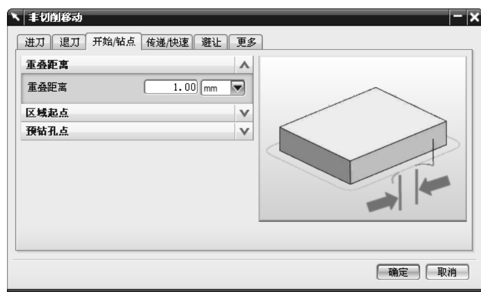


图 5-34　“开始/钻点”选项卡



图 5-35　“传递/快速”选项卡



提示

选择前一平面为传递类型，减少抬刀路径，提高加工效率。

5）单击“非切削移动”对话框中的“确定”按钮，完成非切削参数设置。

6．设置进给参数

单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给和速度”对话框。设置“主轴速度（rpm）”为 60000.00，单位为“rpm（r/min）”；“切削”为 18000.00，单位为“mmpm（mm/min）”，其他接受默认设置，如图 5-36 所示。



图 5-36 “进给和速度”对话框


提示

将所有进给率都设置为相同数值，确保切削刀具上的恒定的切削载荷。



图 5-37 “运动输出”选项

7. 机床控制

1）在“机床控制”组框中的“运动输出”选项中选择“Nurbs”，如图 5-37 所示。

2）系统弹出“Nurbs 运动”对话框，设置拟合控制公差为 0.03，如图 5-38 所示，然后单击“确定”按钮。



图 5-38 “Nurbs 运动”对话框


提示

如果所使用的使用机床控制器不支持 Nurbs 插补，使用该方式输出则程序将无法执行。

8. 生成刀具路径并验证

1）在“操作”对话框中完成参数设置后，单击该对话框底部“操作”组框中的“生成”按钮，可在操作对话框下生成刀具路径，如图 5-39 所示。

2）单击“操作”对话框底部“操作”组框中的“切削过程模拟”按钮，弹出“刀轨可视化”对话框，然后选择“2D 动态”选项卡，单击“播放”按钮▶，可进行 2D 动态刀具切削过程模拟，如图 5-39 所示。

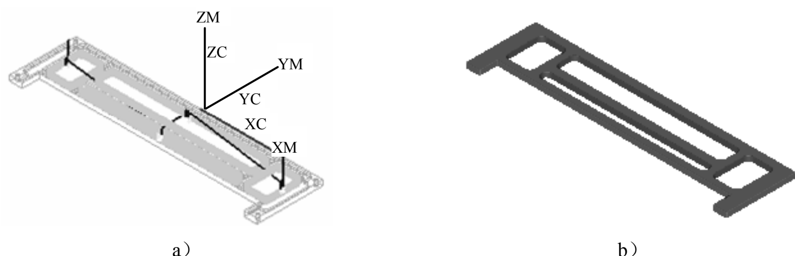


图 5-39　内腔平面铣粗加工的“刀具路径”和“实体切削验证”

a）刀具路径　b）实体切削验证

3）单击“确定”按钮，返回“跟随轮廓粗加工”对话框，然后单击“确定”按钮，完成加工操作。

5.3.4　内腔平面铣精加工

单击“操作导航器”工具栏上的“程序顺序视图”按钮，操作导航器切换到程序视图。

1．**创建操作**

1）单击“插入”工具栏上的“创建操作”按钮，或选择下拉菜单“插入”→“操作”命令，弹出“创建操作”对话框。在“创建操作”对话框中的“类型”下拉列表中选择“mill_planar”，“操作子类型”选择第 1 行第 5 个图标（PLANAR_PROFILE），“程序”选择“NC_PROGRAM”，“刀具”选择“D1.5R0.1”，“几何体”选择“WORKPIECE”，“方法”选择“MILL_FINISH”，在“名称”文本框中输入“PLANAR_PROFILE_FINISH1”，如图 5-40 所示。

2）单击“确定”按钮，弹出“平面轮廓”对话框，如图 5-41 所示。



图 5-40　“创建操作”对话框



图 5-41　“平面轮廓”对话框

2．**创建平面铣几何**

选择内腔平面铣精加工几何的方法和过程与粗加工中的完全相同，请读者参考上一节相关内容学习，此处省略。

3. 选择切削模式和设置切削用量

在“平面轮廓”对话框的“刀轨设置”组框中进行切削用量的设置，如图 5-42 所示。

1）切削进给：在“切削进给”文本框中输入切削速度为“4800.00”单位为“mmpm（mm/min）”。

2）切削深度：在“切削深度”下拉列表中选择“固定深度”，在“最大值”文本框中输入“0.06”。



图 5-42 设置切削用量

4. 设置切削参数

在“平面轮廓”对话框中，单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框，进行切削参数设置。

1）“策略”选项卡：“切削方向”为“顺铣”，“切削顺序”为“深度优先”，其他参数设置如图 5-43 所示。

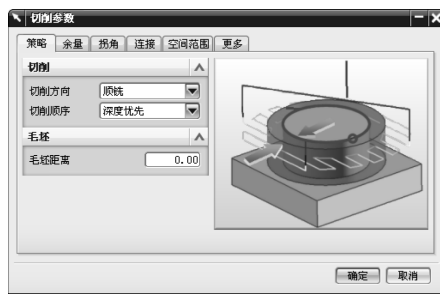


图 5-43 “策略”选项卡

2）“拐角”选项卡：“凸角”为“绕以下对象滚动”，“光顺”为“所有刀路”，其他参数设置如图 5-44 所示。



图 5-44 “拐角”选项卡



提示

当刀具切削接近拐角时，应该减缓切削进给率。“拐角处进给减速”通过长度起始位置和减速的速率来有效控制，通常“减速百分比”越大减速范围越大。

3）“连接”选项卡：“区域排序”为“优化”，其他参数设置如图 5-45 所示。

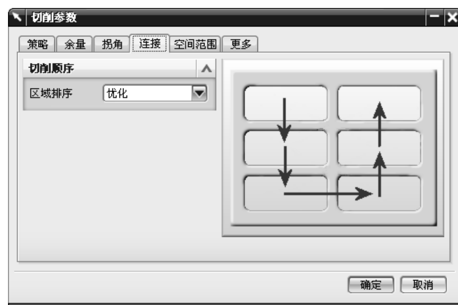


图 5-45　“连接”选项卡

4）单击“切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成切削参数设置。

5．设置非切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“非切削参数”按钮，弹出“非切削移动”对话框，进行切削参数设置。

1）“进刀”选项卡：“进刀类型”为“圆弧”，“半径”为“50.00”，其他参数设置如图 5-46 所示。

2）“退刀”选项卡：“退刀类型”为“与进刀相同”，其他参数设置如图 5-47 所示。

3）“开始/钻点”选项卡：“重叠距离”为“1.00”，其他接受默认设置，如图 5-48 所示。

4）“传递/快速”选项卡：“传递类型”为“前一平面”，其他参数设置如图 5-49 所示。


提示

“区域之间”控制添加以清除不同切削区域（部件上不同区域）之间障碍的退刀、传递和进刀。“区域内”控制添加以清除切削区域内或切削特征层之间材料的退刀、传递和进刀。

5）单击“非切削移动”对话框中的“确定”按钮，完成非切削参数设置。

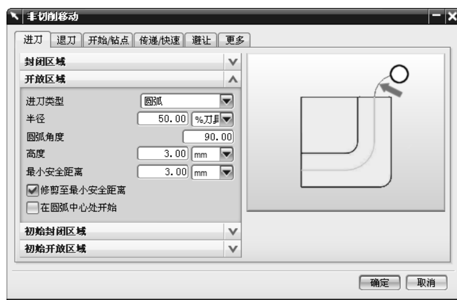


图 5-46　“进刀”选项卡

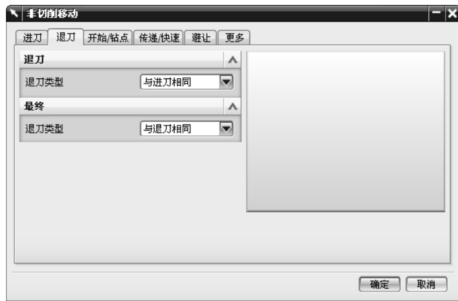


图 5-47　“退刀”选项卡

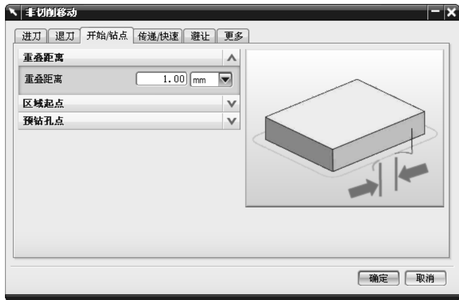


图 5-48 “开始/钻点”选项卡

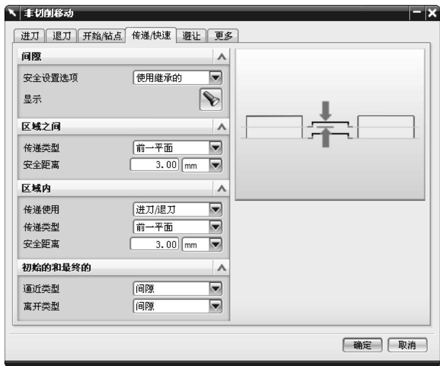


图 5-49 “传递/快速”选项卡

6. 设置进给参数

单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给和速度”对话框。设置“主轴速度（rpm）”为“60000.00”，单位为“rpm（r/min）”；“切削”为 4800.00，单位为“mmpm（mm/min）”，其他接受默认设置，如图 5-50 所示。



图 5-50 “进给和速度”对话框

7. 机床控制

1）在“机床控制”组框中的“运动输出”选项中选择“Nurbs”，如图 5-51 所示。



图 5-51 设置“运动输出”选项

2）系统弹出“Nurbs 运动”对话框，设置拟合控制公差为 0.03，如图 5-52 所示，单击“确定”按钮。

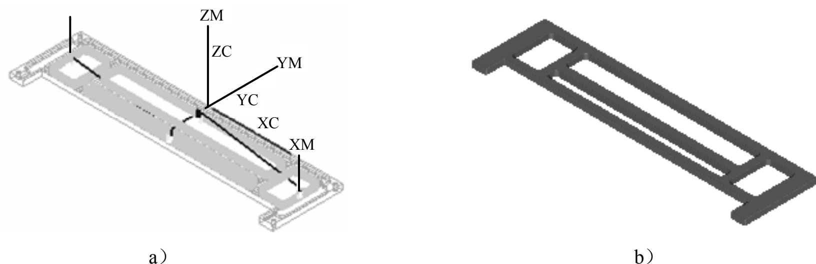


图 5-52 “Nurbs 运动”对话框

8. 生成刀具路径并验证

1）在“操作”对话框中完成参数设置后，单击该对话框底部“操作”组框中的“生成”按钮，可在操作对话框下生成刀具路径，如图 5-53 所示。

2）单击“操作”对话框底部“操作”组框中的“切削过程模拟”按钮，弹出“刀轨可视化”对话框，然后选择“2D 动态”选项卡，单击“播放”按钮，可进行 2D 动态刀具切削过程模拟，如图 5-53 所示。



a）　　b）

图 5-53　内腔平面铣精加工的“刀具路径”和“实体切削验证”

a）刀具路径　b）实体切削验证

3）单击“确定”按钮，返回“平面轮廓”对话框，然后单击“确定”按钮，完成加工操作。

5.3.5　凹槽平面铣精加工

单击“操作导航器”工具栏上“程序顺序视图”按钮，操作导航器切换到程序视图。

1. 创建操作

1）单击“插入”工具栏上的“创建操作”按钮，或选择下拉菜单“插入”→“操作”命令，弹出“创建操作”对话框。在“创建操作”对话框中的“类型”下拉列表中选择“mill_planar”，“操作子类型”选择第 1 行第 4 个图标（PLANAR_MILL），“程序”选择“NC_PROGRAM”，“刀具”选择“D1.5R0.1”，“几何体”选择“WORKPIECE”，“方法”选择“MILL_FINISH”，在“名称”文本框中输入“PLANAR_FINISH2”，如图 5-54 所示。

2）单击“确定”按钮，弹出“平面铣”对话框，如图 5-55 所示。



图 5-54　“创建操作”对话框



图 5-55　“平面铣”对话框

2．**创建平面铣几何**

1）单击“平面铣”对话框的“几何体”组框中的“指定部件边界”选项后的“选择或编辑部件边界”按钮，弹出“边界几何体”对话框。

① 在“类型”下拉列表中选择“面”选项，“材料侧”为“外部”，设置相关参数如图 5-56 所示。

② 在图形区选择如图 5-57 所示的平面作为部件边界几何，然后依次单击“确定”按钮，返回“平面铣”对话框。

2）编辑边界平面。具体操作步骤如下：

① 单击“平面铣”对话框“几何体”组框中“指定部件边界”选项后的“选择或编辑部件边界”按钮，弹出“边界几何体”对话框，在“平面”下拉列表中选择“用户定义”选项，弹出“平面”对话框，设置边界曲线高度 Z=0，单击“确定”按钮，返回“编辑边界”对话框，如图 5-58 所示。



图 5-56 “边界几何体”对话框

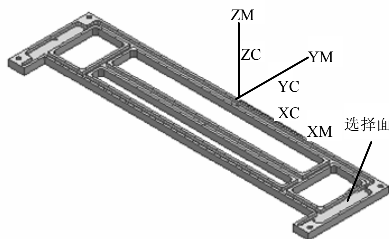


图 5-57 选择部件边界



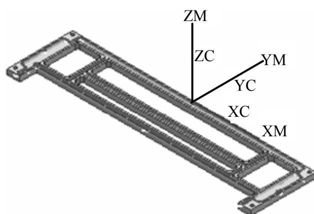


图 5-58 设置边界曲线所在平面

② 依次单击“编辑边界”对话框中的按钮，重复上述步骤，将所有边界曲线平面都更改为 Z=0，如图 5-59 所示。

3）在“平面铣”对话框的“几何体”组框中，单击“指定底面”后的“选择或编辑底面几何体”按钮，弹出“平面构造器”对话框，选择如图 5-60 所示的平面作为底面。单击“确定”按钮，返回“平面铣”对话框。

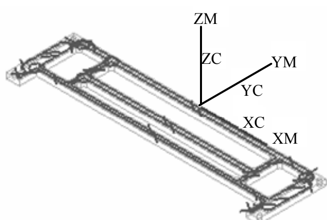


图 5-59　更改边界平面

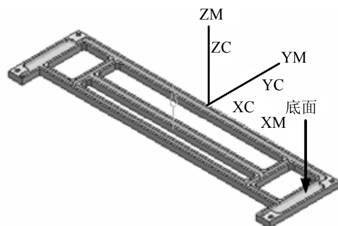


图 5-60　选择底面

3. 选择切削模式和设置切削参数

在“平面铣”对话框的“刀轨设置”组框中进行“切削模式”和“切削参数”的设置，如图 5-61 所示。

1）选择切削模式：在“切削模式”下拉列表中选择“摆线”方式。

2）设置切削步进：在“步距”下拉列表中选择“%刀具平直”，在“平面直径百分比”文本框中输入“50.00”。

3）设定切削深度：单击“切削层”按钮，弹出“切削深度参数”对话框，选择“类型”为“用户定义”选项，“最大值”和“最小值”为“0.06”，其他参数如图 5-62 所示。单击“确定”按钮，返回“平面铣”对话框。



图 5-61　切削模式和设置切削用量

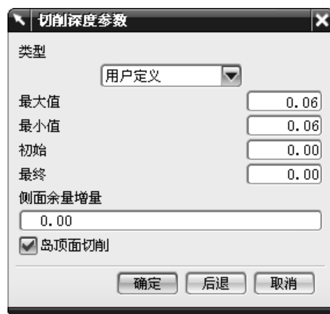


图 5-62　“切削深度参数”对话框

4. 设置切削参数

在“平面铣”对话框中，单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框，进行切削参数设置。

1）“策略”选项卡：“切削顺序”为“层优先”，“刀路方向”为“向外”，其

他参数设置如图 5-63 所示。



图 5-63 “策略”选项卡


提示

摆线切削的切削方向设置为“向外”，可变面刀具在切削时埋入材料而限制切削步距增加，故适合高速粗加工。这种模式包括摆线铣削、拐角倒圆和其他拐角及嵌入区域处理，以确保达到指定的步距。它是“跟随部件”和“向内摆线”切削模式的组合，可用于型腔铣、平面铣和面铣削操作。

2）“拐角”选项卡：“凸角”为“绕以下对象滚动”，其他参数设置如图 5-64 所示。



图 5-64 “拐角”选项卡

3）单击“切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成切削参数设置。

5．设置非切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“非切削参数”按钮，弹出“非切削移动”对话框，进行切削参数设置。

1）“进刀”选项卡：“进刀类型”为“螺旋线”，“直径”为“90.00”，“最小安全距离”为“0.005”，其他参数设置如图 5-65 所示。

2）“退刀”选项卡：“退刀类型”为“与进刀相同”，其他参数设置如图 5-66 所示。

3）“开始/钻点”选项卡：“重叠距离”为“1.00”，其他接受默认设置，如图 5-67 所示。

4）“传递/快速”选项卡：“传递类型”为“前一平面”，其他参数设置如图 5-68 所示。

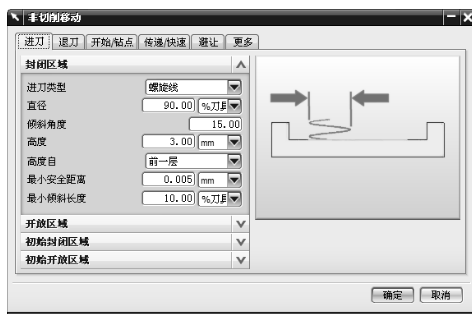


图 5-65 “进刀”选项卡

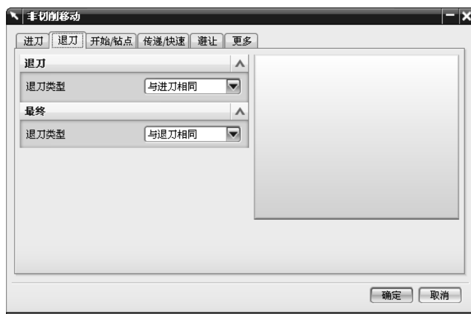


图 5-66 “退刀”选项卡

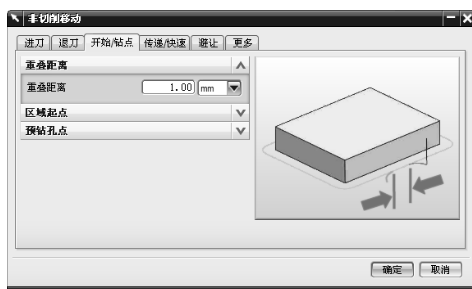


图 5-67 “开始/钻点”选项卡



图 5-68 “传递/快速”选项卡

5）单击“非切削移动”对话框中的“确定”按钮，完成非切削参数设置。

6．设置进给参数

单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给和速度”对话框。设置“主轴速度（rpm）”为“60000.00”，单位为“rpm（r/min）”；“切削”为“4800.00”，单位为“mmpm（mm/min）”，其他接受默认设置，如图 5-69 所示。



图 5-69　“进给和速度”对话框

7. 机床控制

1）在“机床控制”组框中的“运动输出”选项中选择“Nurbs”，如图 5-70 所示。

2）系统弹出“Nurbs 运动”对话框，设置拟合控制公差为 0.03，如图 5-71 所示，单击“确定”按钮。



图 5-70　设置运动输出选项



图 5-71　“Nurbs 运动”对话框



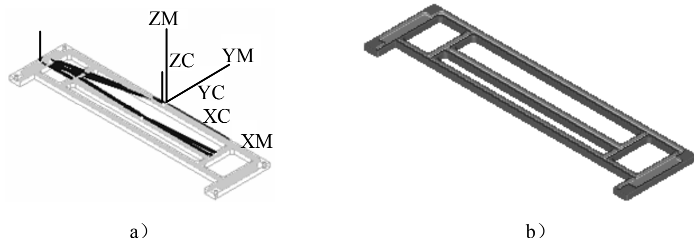
提示

如果所使用的使用机床控制器不支持 Nurbs 插补，使用该方式输出，则程序将无法执行。

8. 生成刀具路径并验证

1）在“操作”对话框中完成参数设置后，单击该对话框底部“操作”组框中的“生成”按钮，可在操作对话框下生成刀具路径，如图 5-72 所示。

2）单击“操作”对话框底部“操作”组框中的“确认”按钮，弹出“刀轨可视化”对话框，然后选择“2D 动态”选项卡，单击“播放”按钮，可进行 2D 动态刀具切削过程模拟，如图 5-72 所示。



a）　　b）

图 5-72　凹槽平面铣精加工的“刀具路径”和“实体切削验证”

a）刀具路径　b）实体切削验证

3）单击“确定”按钮，返回“平面铣”对话框，然后单击“确定”按钮，完成加工操作。

5.4　实例总结

本节以薄板支架零件平面凸轮为例，讲解了 UG NX 7.0 平面铣加工方法在高速加工中的应用，读者在学习过程中要注意以下几点：

1）平面铣加工能使用与常规数控加工，也可以进行高速加工，它们的操作方法和步骤基本相同。但要想使其适合高速加工，必须设置相关参数：

① 步距：高速加工中采用高进给速度、小切深，因此设置步距一般不超过刀具直径的 10%，那么高速加工的效率主要来源于高的主轴转速和进给率。

② 进退刀：一般采用螺旋进刀或圆弧进刀方式从一个切削层进入下一个切削层。

③ 内外公差：高速精加工应该设置很小的内外公差。虽然这样处理增加加工程序的代码数量，但是高速加工可“以切代磨”，反过来减少了加工工作量。

④ 进给率：将所有进给率都设置为相同数值，确保切削刀具上的恒定的切削载荷。

2）高速加工中，采用 Nurbs 插补可以避免以直代替曲，Nurbs 数据可以输出光顺的刀具轨迹，减少机床处理加工代码的数据量。

3）当需要限制刀具因过大的横向进给而产生破坏，且需要避免过量切削材料时，可采用摆线方式。在进刀过程中的岛和部件之间、形成锐角的内拐角以及窄区域中，几乎总是会得到内嵌区域。摆线切削可消除这些区域。刀具以小的回环切削模式来加工材料。

第 6 章　UG NX 7.0 车轮曲面高速加工实例

曲面铣高速加工相比平面铣加工略微复杂一些，难度较高。本章介绍的车轮曲面如图 6-1 所示，该模型可看成 8 个上圆弧面、凹槽表面旋转阵列组成。材料为铝合金，表面加工粗糙度值为 *Ra*0.8μm，工件底部安装在工作台上。

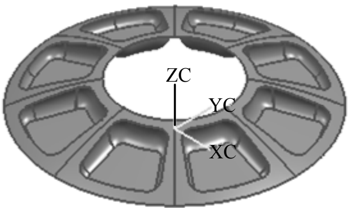


图 6-1　车轮曲面

6.1　加工方法分析

根据高速加工数控工艺要求，车轮曲面加工的工艺路线采用为“粗加工”→“半精加工”→“精加工”。根据零件结构的对称性，首先加工一个轮槽曲面，然后采用旋转阵列方式加工所有凹槽。车轮曲面高速数控加工中所用到的切削用量如表 6-1 所示。

（1）粗加工　首先采用较大直径的刀具进行粗加工，以便于去除大量多余留量，粗加工采用型腔铣环切的方法，刀具直径为 D20R3 的圆鼻刀。

（2）半精加工　采用直径为 D10R2 的圆鼻刀进行等高外形加工，同时为了获得较好的加工质量，在浅平面区域增加层间切削。

（3）精加工　精加工采用固定轴曲面轮廓铣，刀具直径为 D5 的球刀，采用“区域铣削”驱动方法。

表 6-1　车轮曲面高速数控加工切削参数

刀具直径 /mm	刀　齿　数	背吃刀量 /mm	侧吃刀量 /mm	主轴转速 *n* /（r/min）	进给率 /（mm/min）	加工方式
20	2	5	10	19100	11460	粗加工
10	2	1	0.2	60000	7200	半精加工
5	2	0.1	0.1	60000	7200	精加工

6.2　加工流程与效果图

车轮曲面数控加工流程和效果图如表 6-2 所示。

表 6-2　车轮曲面数控加工流程和效果图

步　　骤	设计知识点	设计流程效果图
Step1：打开文件，进入加工环境	数控加工环境是指进入 UG NX 的制造模块后进行编程作业的软件环境，选择“mill_contours”	
Step2：创建几何组	创建几何是在零件上定义要加工的几何对象和指定零件在机床上的加工方位	
Step3：创建刀具组	创建加工所需的加工刀具	
Step4：创建加工方法组	加工方法通过对加工余量、几何体的内外公差等设置，为粗加工、半精加工和精加工设定统一的参数	
Step5：创建型腔铣	型腔铣操作可移除平面层中的大量材料，常用于在精加工操作之前对材料进行粗铣	
Step6：创建等高轮廓铣	等高轮廓铣操作用于多个切削层铣削实体或曲面的轮廓，特别适合于陡峭曲面的加工	

（续）

步　　骤	设计知识点	设计流程效果图
Step7：创建固定轮廓铣	固定轮廓铣是通过选择不同驱动方法可用于精加工由轮廓曲面形成的区域的加工方法	
Step8：变换操作	对于结构对称的零件，可通过刀轨的平移、旋转等操作简化刀轨的创建	

6.3　具体操作步骤

6.3.1　初始化加工环境

1．打开模型文件

启动 UG NX 7.0 后，单击“标准”工具栏上的“打开”按钮，打开“打开部件文件”对话框，选择“chelun.prt”（“光盘路径:\Chapter06\uncompleted\chelun.prt”），单击“OK”按钮，文件打开后如图 6-2 所示。

2．进入加工模块

单击“标准”工具栏上的“起始”按钮，在弹出下拉菜单中选择“加工”命令，弹出“加工环境”对话框。然后在“CAM 会话配置”中选择“cam_general”，在“要创建的 CAM 设置”中选择“mill_contour”，如图 6-3 所示。单击“确定”按钮，进入初始化加工环境。

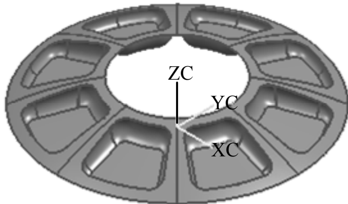


图 6-2　打开的模型文件



图 6-3　“加工环境”对话框

6.3.2　创建加工父级组

1．创建加工几何组

单击“导航器”工具栏上的“几何视图”按钮，将“操作导航器”切换到几何视图显示。

1）设置安全平面，具体操作步骤如下：

① 双击“操作导航器”窗口中的“MCS_MILL”图标，弹出“Mill Orient”对话框，如图 6-4 所示。

② 在“Mill Orient”对话框中，在“安全设置”组框中的“安全设置选项”下拉列表中选择“平面”选项，然后单击“选择安全平面”按钮，弹出“平面构造器”对话框。在如图 6-5 所示的“平面构造器”对话框中，选择“XC-YC”图标，在“偏置”文本框中输入“300.00”，将安全平面设置相对于 XC-YC 平面的距离为 300.00mm。单击“确定”按钮，在图形区会显示安全平面所在的位置，如图 6-6 所示。



图 6-4　“Mill Orient”对话框



图 6-5　“平面构造器”对话框

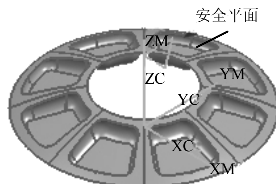


图 6-6　显示安全平面的位置



提示

安全平面的位置是在 WCS 坐标系中定义的，不是在加工坐标系 MCS 中定义的。

2）创建部件几何，具体步骤如下：

① 在“操作导航器”中双击“WORKPIECE”图标，弹出“铣削几何体”对话框，如图 6-7 所示。

② 部件几何。单击“几何体”组框中“指定部件”选项后的“选择或编辑部件几何体”按钮，弹出“部件几何体”对话框。单击“全选”按钮，选择所有的曲面，如图 6-8 所示。单击“确定”按钮，返回“铣削几何体”对话框。

③ 毛坯几何。单击“几何体”组框中“指定毛坯”选项后的“选择或编辑毛坯几何体”按钮，弹出“毛坯几何体”对话框。选择图层 20 上的圆柱体为毛坯，单击“确定”按钮，完成毛坯几何的创建，如图 6-9 所示。



图 6-7 “铣削几何体”对话框

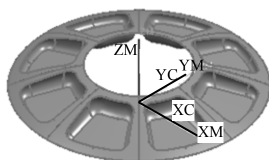


图 6-8 选择部件几何

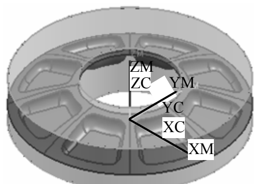


图 6-9 创建毛坯几何

2. **创建刀具组**

单击“导航器”工具栏上的“机床视图”按钮，操作导航器切换到机床刀具视图。

1）创建直径为 D20R3 的圆角刀，具体操作步骤如下：

① 单击“加工创建”工具栏上的“创建刀具”按钮，弹出“创建刀具”对话框。在“类型”下拉列表中选择“mill_planar”，“刀具子类型”选择“MILL”图标，在“名称”文本框中输入“D20R3”，如图 6-10 所示。单击“创建刀具”对话框中的“确定”按钮，弹出“铣刀 5-参数”对话框。

② 在“铣刀 5-参数”对话框中设定“直径”为“20.00”，“底圆角半径”为“3.00”，其他参数如图 6-11 所示。单击“确定”按钮，完成刀具创建。



图 6-10 “创建刀具”对话框

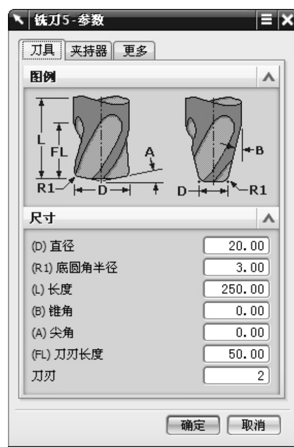


图 6-11 “铣刀 5-参数”对话框

2）创建直径为 D10R2 的圆角刀，具体操作步骤如下：

① 单击“加工创建”工具栏上的“创建刀具”按钮，弹出“创建刀具”对话框。在“类型”下拉列表中选择“mill_planar”，“刀具子类型”选择“MILL”图标，在“名称”文本框中输入“D10R2”，如图 6-12 所示。单击“创建刀具”对话框中的“确定”按钮，弹出“铣刀 5-参数”对话框。

② 在“铣刀 5-参数”对话框中设定“直径”为“10.00”，“底圆角半径”为“2.00”，其他参数如图 6-13 所示。单击“确定”按钮，完成刀具创建。



图 6-12 “创建刀具”对话框

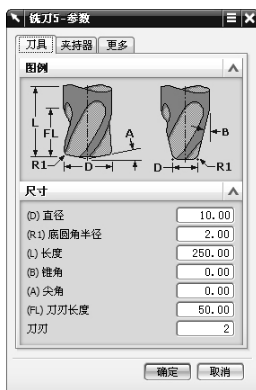


图 6-13 “铣刀 5-参数”对话框

3）创建直径为 B6 的球刀，具体操作步骤如下：

① 单击“加工创建”工具栏上的“创建刀具”按钮，弹出“创建刀具”对话框。在“类型”下拉列表中选择“mill_contour”，“刀具子类型”选择“MILL”图标，在“名称”文本框中输入“B6”，如图 6-14 所示。单击“创建刀具”对话框中的“确定”按钮，弹出“铣刀 5-参数”对话框。

② 在“铣刀 5-参数”对话框中设定“直径”为“6.00”，“底圆角半径”为“3.00”，其他参数设置如图 6-15 所示。单击“确定”按钮，完成刀具的创建。



图 6-14 “创建刀具”对话框

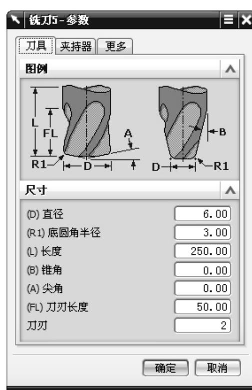


图 6-15 “铣刀 5-参数”对话框

3．设置加工方法组

单击“操作导航器”工具栏上的“加工方法视图”按钮，操作导航器切换到加工方法视图。

1）双击“操作导航器”中的“MILL_ROUGH”图标，弹出“铣削方法”对话框。在“部件余量”文本框中输入“0.30”，“内公差”和“外公差”中输入“0.05”，如图 6-16 所示。单击“确定”按钮，完成粗加工方法设定。

2）双击“操作导航器”中的“MILL_SEMI_FINISH”图标，弹出“铣削方法”对话框。在“部件余量”文本框中输入“0.10”，“内公差”和“外公差”中输入“0.005”，如图 6-17 所示。单击“确定”按钮，完成半精加工方法设定。

3）双击“操作导航器”中的“MILL_FINISH”图标，弹出“铣削方法”对话框。在“部件余量”文本框中输入“0.00”，“内公差”和“外公差”中输入“0.0005”，如图 6-18 所示。单击“确定”按钮，完成精加工方法设定。



图 6-16　粗加工方法设置



图 6-17　半精加工方法设置



图 6-18　精加工方法设置

6.3.3　型腔铣粗加工

单击“操作导航器”工具栏上“程序顺序视图”按钮，操作导航器切换到程序视图。

1．创建操作

1）单击“插入”工具栏上的“创建操作”按钮，弹出“创建操作”对话框。在“创建操作”对话框中的“类型”下拉列表中选择“mill_contour”，“操作子类型”选择第 1 行第 1 个图标（CAVITY_MILL），“程序”选择“NC_PROGRAM”，“刀具”选择“D20R3”，“几何体”选择“WORKPIECE”，“方法”选择“MILL_ROUGH”，在“名称”文本框中输入“CAVITY_MILL_ROUGH”，如图 6-19 所示。


提示

输入名称时，字母的大写和小写没有关系，因为所有的字母都会转变成大写。名称可以用数字，但必须以字母开始。

2）单击“确定”按钮，弹出“型腔铣”对话框，如图 6-20 所示。

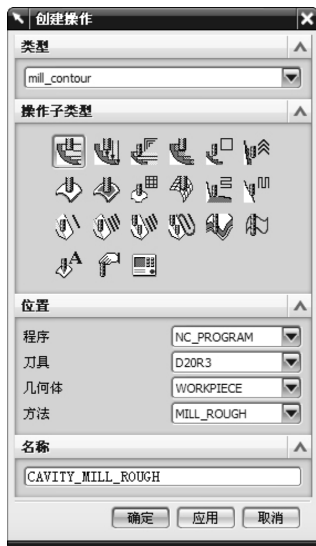


图 6-19　“创建操作”对话框



图 6-20　“型腔铣”对话框

2．**选择切削模式和设置切削用量**

在“型腔铣”对话框的“刀轨设置”组框中进行“切削模式”和“切削参数”的设置，如图 6-21 所示。

1）选择切削模式：在“切削模式”下拉列表中选择“跟随部件”方式。

2）设置切削步进：在“步距”下拉列表中选择“%刀具平直”，在“平面直径百分比”文本框中输入“50.00”。

3）设定层铣深度：在“全局每刀深度”文本框中输入“5.00”。



图 6-21　“切削模式”和“切削参数”的设置



提示

高速加工是以低负荷高速进行切削，所以切削用量应该小一些，但具体切削用量的选择可参考高速加工有关的切削参数进行。

3．**设置切削参数**

单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框，

进行切削参数的设置。

1）“策略”选项卡：“切削方向”为“顺铣”，“切削顺序”为“层优先”，其他参数设置如图 6-22 所示。

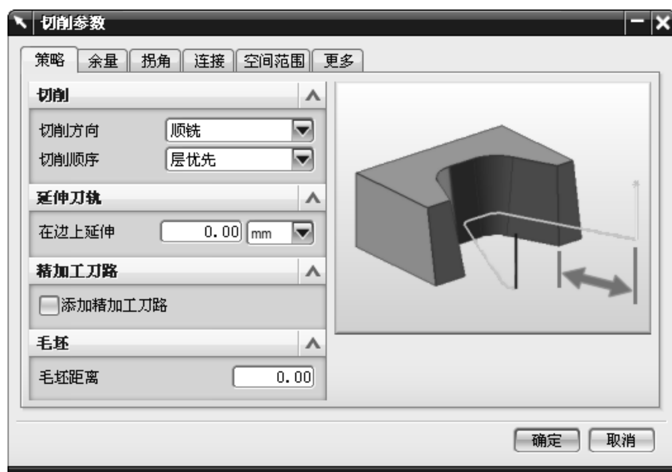


图 6-22 “策略”选项卡

2）“余量”选项卡：选中“使用‘底部面和侧壁余量一致’”复选框，设置余量为 0.30，其他参数设置如图 6-23 所示。

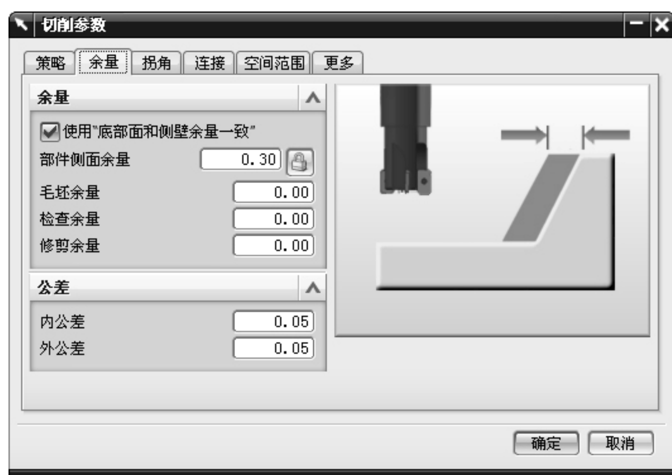


图 6-23 “余量”选项卡

3）“拐角”选项卡：“光顺”为“所有刀路”，其他参数设置如图 6-24 所示。

4）“空间范围”选项卡：在“处理中的工件”下拉列表中选择“使用 3D”选项，其他参数设置如图 6-25 所示。



图 6-24 “拐角”选项卡

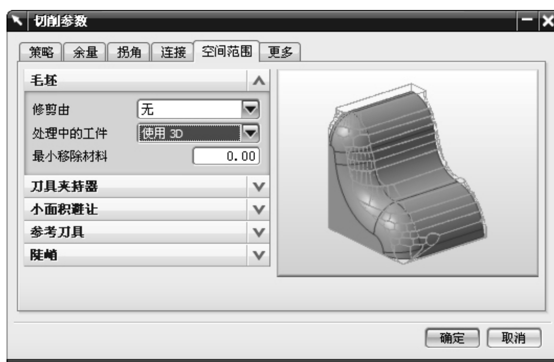


图 6-25 “空间范围”选项卡


提示

“使用 3D”是使用一个内部定义的 3D 模型来表示余下的材料，所有的铣削操作都能够处理一个 3D IPW。如果用户的型腔铣操作跟随在一个曲面轮廓铣的后面，那么就必须使用“使用 3D”。


提示

高速加工中，为了减少切削过程中的空刀，提高刀具寿命，一般需要设置加工过程中的工件选项。

5）“更多”选项卡：在“原有的”组框中，勾选“容错加工”复选框，如

图 6-26 所示。



图 6-26 “更多”选项卡

6）单击“切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成切削参数设置。

4. **设置非切削移动**

单击“刀轨设置”组框中的“非切削参数”按钮，弹出“非切削移动”对话框，进行非切削参数设置。

1）“进刀”选项卡：封闭区域的“进刀类型”为“螺旋线”，“直径”为“90.00”，“最小安全距离”为“0.05”，其他参数设置如图 6-27 所示。

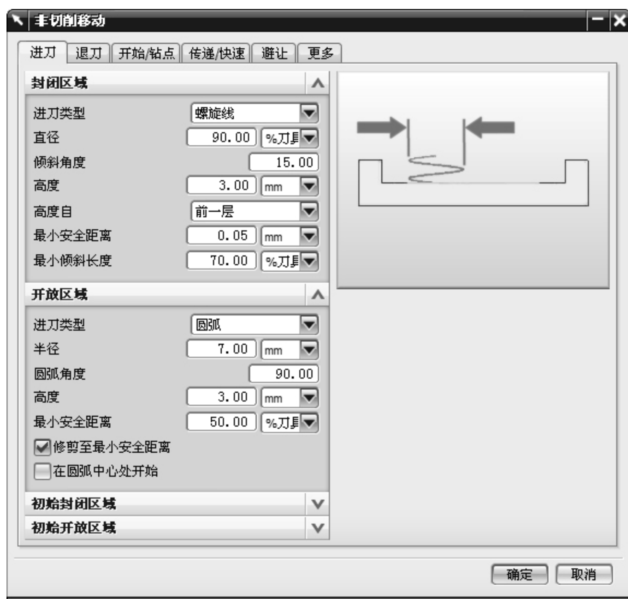


图 6-27 “进刀”选项卡



提示

“最小安全距离”可保证在高速铣削加工中，刀具在接近零件侧壁时不进刀切入工件。

2）“退刀”选项卡：“退刀类型”为“与进刀相同”，其他参数设置如图 6-28 所示。

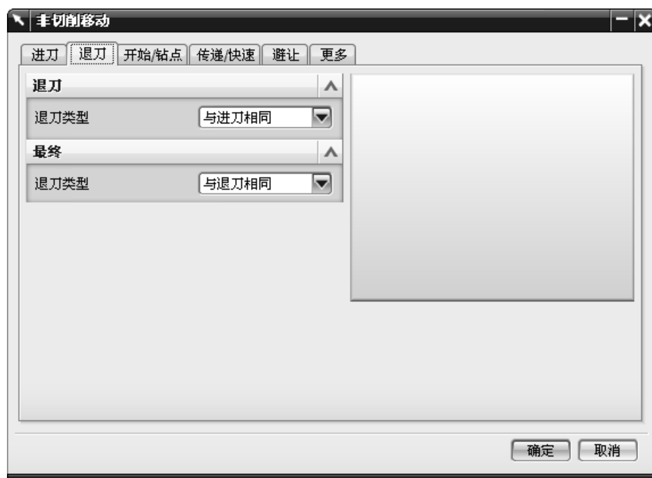


图 6-28　“退刀”选项卡

3）“开始/钻点”选项卡：“重叠距离”为“1.00”，其他接受默认设置，如图 6-29 所示。

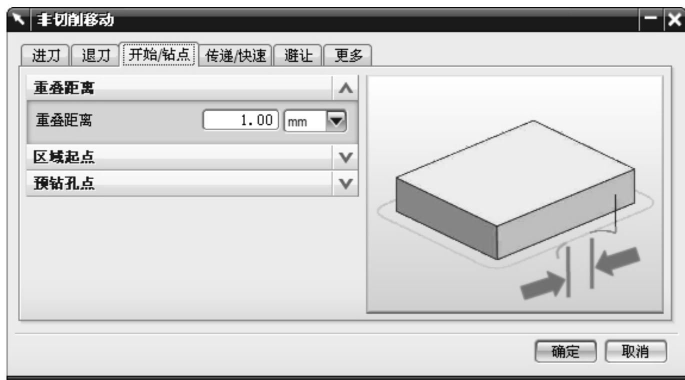


图 6-29　“开始/钻点”选项卡

4）“传递/快速”选项卡：“传递类型”为“前一平面”，其他参数设置如图 6-30 所示。

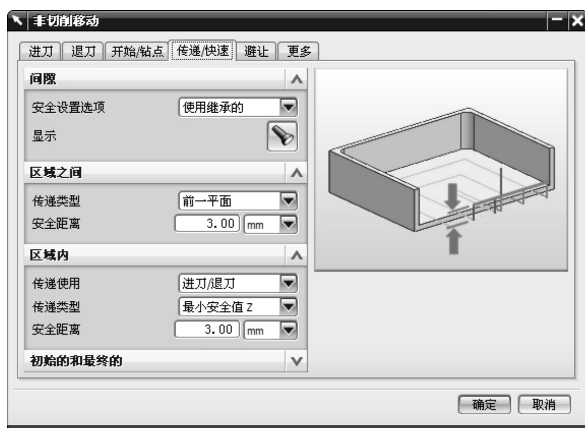


图 6-30 “传递/快速”选项卡

提示

“前一平面”是指刀具移到一个新的切削区域时，该选项使刀具提刀并且沿着前一个切削层移动到下一个新的切削区域。当刀具要移动到下一个较低的切削层时，刀具只抬高到当前切削层的垂直距离高度，然后水平移动到下一切削层的进刀位置；当刀具在同一切削层由一个切削区域转移到另一个切削区域时，刀具将抬高到前一个切削层上垂直距离高度，然后水平移动到下一切削层的进刀位置。

5）单击“非切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成非切削参数设置。

5．**设置进给参数**

单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给”对话框。设置“主轴速度（rpm）”为“19100.00”，单位为 rpm（r/min）；“切削”为“11460.00”，单位为“mmpm（mm/min）”，其他接受默认设置，如图 6-31 所示。



图 6-31 “进给和速度”对话框

6．**机床控制**

1）在“机床控制”组框中的“运动输出”选项中选择“Nurbs”，如图 6-32 所示。

2）系统弹出“Nurbs 运动”对话框，设置拟合控制公差为 0.03，如图 6-33 所示，然后单击“确定”按钮。



图 6-32　设置“运动输出”选项

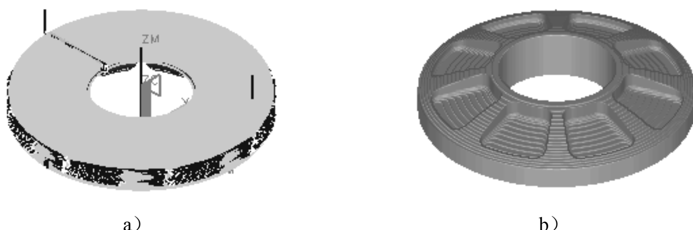


图 6-33　“Nurbs 运动”对话框

7．生成刀具路径并验证

1）在“操作”对话框中完成参数设置后，单击该对话框底部“操作”组框中的“生成”按钮，可在操作对话框下生成刀具路径，如图 6-34 所示。

2）单击“操作”对话框底部“操作”组框中的“切削过程模拟”按钮，弹出“刀轨可视化”对话框，然后选择“2D 动态”选项卡，单击“播放”按钮，可进行 2D 动态刀具切削过程模拟，如图 6-34 所示。



a）　　b）

图 6-34　型腔铣粗加工的“刀具路径”和“实体切削验证”

a）刀具路径　b）实体切削验证

3）单击“确定”按钮，返回“型腔铣”对话框，然后单击“确定”按钮，完成型腔铣粗加工操作。

6.3.4　等高轮廓铣半精加工

单击“操作导航器”工具栏上的“程序顺序视图”按钮，操作导航器切换到程序视图。

1．创建操作

1）单击“加工创建”工具栏上的“创建操作”按钮，弹出“创建操作”对话框。在“创建操作”对话框中的“类型”下拉列表中选择“mill_contour”，“操作子类型”选择第 1 行第 5 个图标（ZLEVEL_PROFILE），“程序”选择“NC_PROGRAM”，“刀具”选择“D10R2”，“几何体”选择“WORKPIECE”，“方法”选择“MILL_SEMI_FINISH”，在“名称”文本框中输入“ZLEVEL_

PROFILE_SEMI FINISH”，如图 6-35 所示。

2）单击“确定”或者“应用”按钮，弹出“深度加工轮廓”对话框，如图 6-36 所示。



图 6-35 “创建操作”对话框



图 6-36 “深度加工轮廓”对话框

2. 指定修剪边界

1）单击“几何体”组框中的“指定修剪边界”后的“选择或编辑修剪边界”按钮，弹出“修剪边界”对话框，在“过滤器类型”中选择“曲线边界”，“平面”为“自动”，“修剪侧”为“外部”，如图 6-37 所示。

2）在图形区选择图 6-38 所示的边线作为修剪边界，单击“确定”按钮完成。



图 6-37 “修剪边界”对话框

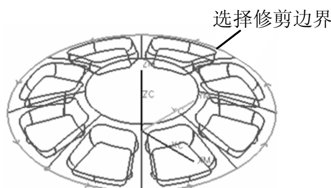


图 6-38 选择修剪边界



提示

不设置修剪边界，则会在零件的上表面和侧面产生不需要的刀轨。

3. 设置合并距离和切削深度

在“刀轨设置”组框中设置相关参数，如图 6-39 所示。

1）在“陡峭空间范围”下拉列表中选择“无”选项。

2）“合并距离”文本框中输入“3.00”，“最小切削深度”输入“1.00”，在“全局每刀深度”文本框中输入“1.00”。



图 6-39　设置“刀轨设置”参数

4. 设置切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框，设置切削加工参数。

1）“策略”选项卡：“切削方向”为“顺铣”，“切削顺序”为“深度优先”，取消“在边上延伸”和“在边缘滚动刀具”复选框，其他接受默认设置，如图 6-40 所示。

2）“余量”选项卡：使用“使用‘底部面和侧壁余量一致’”复选框，设置余量为 0.10，其他参数设置如图 6-41 所示。

3）“拐角”选项卡：“光顺”为“所有刀路”，其他参数设置如图 6-42 所示。

4）“连接”选项卡：“层到层”为“沿部件斜进刀”，勾选“在层之间切削”和“短距离移动上的进给”复选框，如图 6-43 所示。

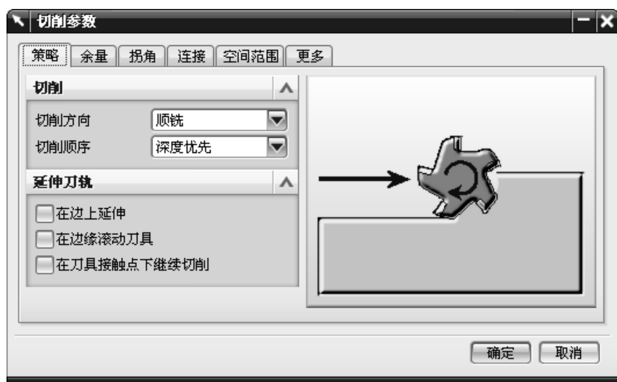


图 6-40　“策略”选项卡

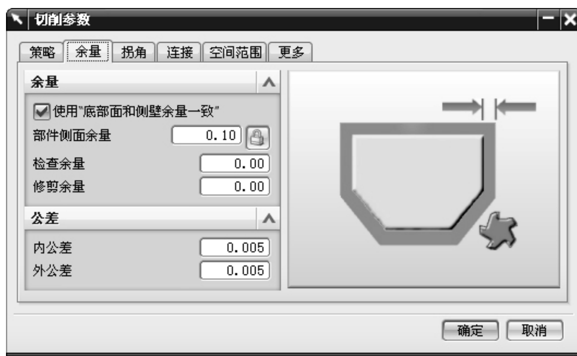


图 6-41 “余量”选项卡

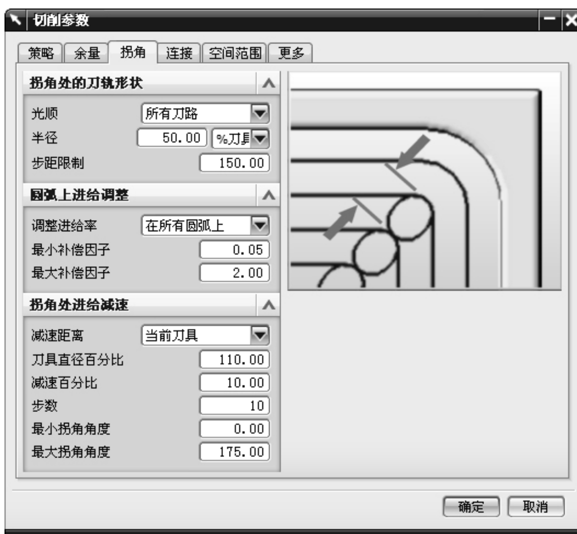


图 6-42 “拐角”选项卡

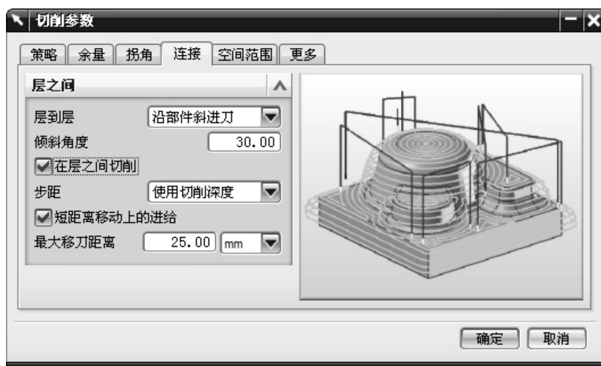


图 6-43 “连接”选项卡



提示

“在层之间切削”用于在深度加工中的切削层间存在间隙时创建额外的切削。“在层之间切削”可消除在标准层到层加工操作中留在浅区域中的非常大的残余高度。

5）单击“切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成切削参数设置。

5．设置非切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“非切削参数”按钮，弹出“非切削移动”对话框，进行非切削参数设置。

1）“进刀”选项卡：开放区域的“进刀类型”为“圆弧”，“初始开放区域”的“进刀类型”为“与开放区域相同”，其他参数设置如图 6-44 所示。



图 6-44　“进刀”选项卡

2）“退刀”选项卡：“退刀类型”为“与进刀相同”，其他参数设置如图 6-45 所示。



图 6-45　“退刀”选项卡

3）“传递/快速”选项卡：“安全设置选项”为“使用继承的”，其他参数设置如图 6-46 所示。

4）单击“非切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成非切削参数设置。

6. 设置进给参数

单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给和速度”对话框。设置“主轴速度（rpm）”为“38200.00”，单位为“rpm（r/min）”；“切削”为“16810.00”，单位为“mmpm（mm/min）”，其他接受默认设置，如图 6-47 所示。



图 6-46 “传递/快速”选项卡



图 6-47 “进给和速度”对话框

7. 机床控制

1）在“机床控制”组框中的“运动输出”选项中选择“Nurbs”，如图 6-48 所示。

2）系统弹出“Nurbs 运动”对话框，设置拟合控制公差为 0.03，如图 6-49 所示，然后单击“确定”按钮。



图 6-48 设置“运动输出”选项

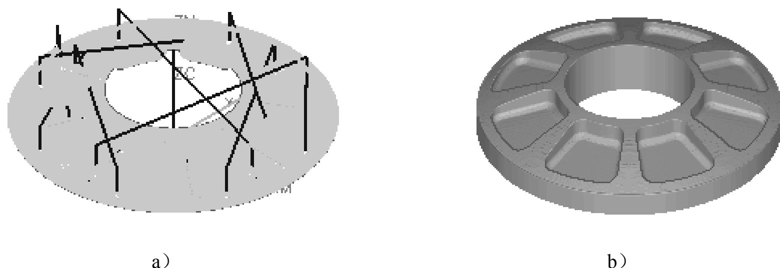


图 6-49 “Nurbs 运动”对话框

8．生成刀具路径并验证

1）在“操作”对话框中完成参数设置后，单击该对话框底部“操作”组框中的“生成”按钮，可在操作对话框下生成刀具路径，如图 6-50 所示。

2）单击“操作”对话框底部“操作”组框中的“切削过程模拟”按钮，弹出“刀轨可视化”对话框，然后选择“2D 动态”选项卡，单击“播放”按钮，可进行 2D 动态刀具切削过程模拟，如图 6-50 所示。



a）　　b）

图 6-50　等高轮廓铣半精加工的“刀具路径”和“实体切削验证”

a）刀具路径　b）实体切削验证

3）单击“深度加工轮廓”对话框中的“确定”按钮，接受刀具路径，并关闭“深度加工轮廓”对话框。

6.3.5　固定轴曲面轮廓铣精加工

单击“操作导航器”工具栏上的“程序顺序视图”按钮，操作导航器切换到程序视图。

1．创建操作

1）单击“加工创建”工具栏上的“创建操作”按钮，弹出“创建操作”对话框。在“创建操作”对话框中的“类型”下拉列表中选择“mill_contour”，“操作子类型”选择第 2 行第 1 个图标（FIXED_CONTOUR），“程序”选择“NC_PROGRAM”，“刀具”选择“B5”，“几何体”选择“WORKPIECE”，“方法”选择“MILL_FINISH”，在“名称”文本框中输入“FIXED_CONTOUR_FINISH”，如图 6-51 所示。

2）单击“确定”或者“应用”按钮，弹出“固定轮廓铣”对话框，如图 6-52 所示。

2．选择加工几何

单击“几何体”组框中“指定切削区域”选项后的“选择或编辑切削区域”

按钮，弹出“切削区域”对话框。在图形区选择图 6-53 所示的曲面作为切削区域，单击“确定”按钮完成。

3．**选择驱动方法并设置驱动参数**

1）在“驱动方式”组框中的“方法”下拉列表中选取“区域铣削”，系统弹出“区域铣削驱动方法”对话框，如图 6-54 所示。



图 6-51 “创建操作”对话框



图 6-52 “固定轮廓铣”对话框

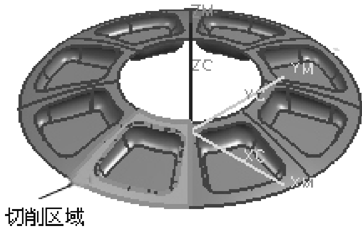


图 6-53 选择切削区域



图 6-54 “区域铣削驱动方法”对话框



提示

设置残余高度来定义切削步距，可以直接有效地控制加工后的表面质量。

2）在“驱动设置”组框中选择“切削模式”为“跟随周边”，“步距”为“残余高度”，并输入“残余高度”为“0.05”，如图 6-55 所示。

3）单击“区域铣削驱动方法”对话框中的“确定”按钮，完成驱动方法设置，返回“固定轮廓铣”对话框。

4．**设置切削参数**

单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框，设置切削加工参数。

1）“策略”选项卡：取消“在边上延伸”和“在边缘滚动刀具”复选框，其他接受默认设置，如图 6-56 所示。

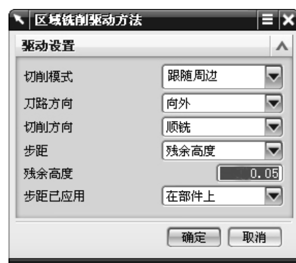


图 6-55 “驱动设置”对话框

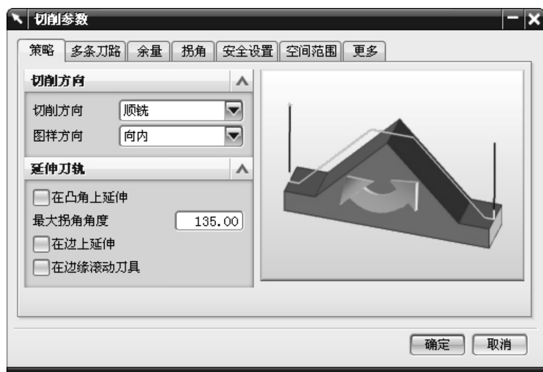


图 6-56 “策略”选项卡

2）“拐角”选项卡：“光顺”为“所有刀路”，其他参数设置如图 6-57 所示。

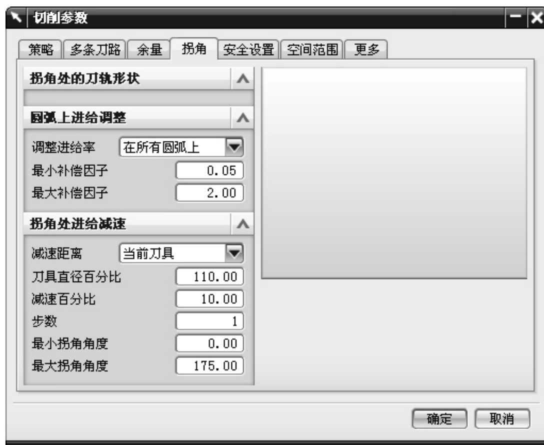


图 6-57 “拐角”选项卡

3）“更多”选项卡：在“最大步长”文本框中输入“5.00”，选择“%刀具直径”；取消“应用于步距”复选框，勾选“优化轨迹”复选框，如图 6-58 所示。

4）单击“切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成切削参数设置。

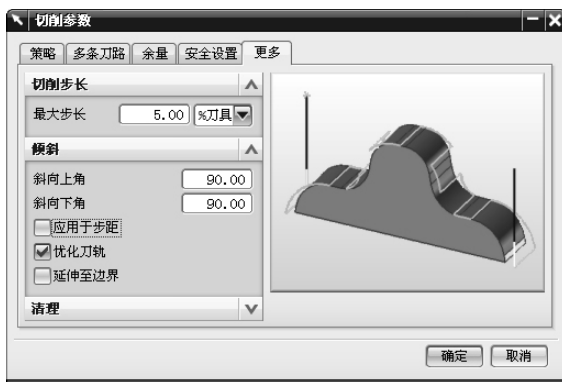


图 6-58 “更多”选项卡

5．**设置非切削参数**

单击“刀轨设置”组框中的“非切削参数”按钮，弹出“非切削移动”对话框，进行非切削参数设置。

1）“进刀”选项卡：“进刀类型”为“圆弧-与刀轴平行”，“半径”为“50.00”，其他参数设置如图 6-59 所示。

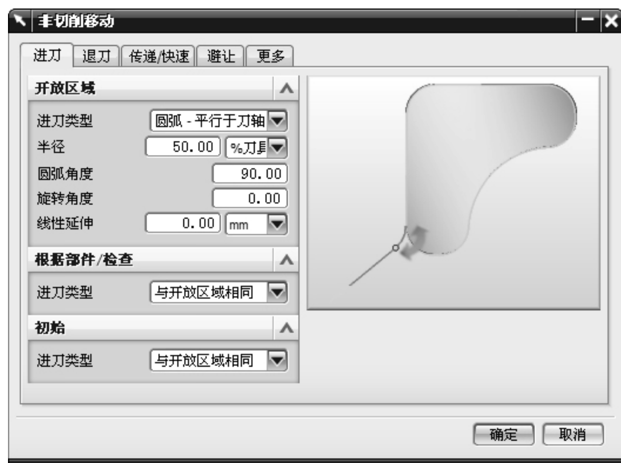


图 6-59 “进刀”选项卡

2）“退刀”选项卡：“退刀类型”为“与进刀相同”，其他参数设置如图 6-60 所示。



图 6-60　“退刀”选项卡

3）“传递/快速”选项卡：“安全设置选项”为“使用继承的”，其他参数设置如图 6-61 所示。

① 在“区域之间”设置“逼近”、“离开”、“移刀”参数，如图 6-62 所示。

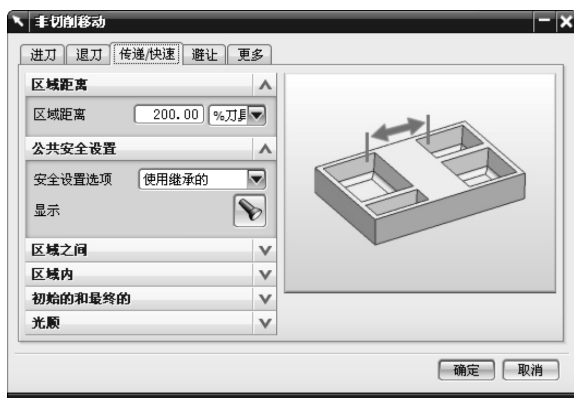


图 6-61　“传递/快速”选项卡



图 6-62　设置“区域之间”参数

② 在“区域内”和“初始的和最终的”组框中设置“逼近”、“离开”、“移刀”参数，如图 6-63 所示。

4）单击“非切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成非切削参数设置。

6. 设置进给参数

单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给和速度”对话框。设置“主轴速度（rpm）”为“60000.00” ，单位为“rpm（r/min）”；“切削”为“7200.00”，单位为“mmpm（mm/min）”，其他接受默认设置，如图 6-64 所示。



图 6-63　设置“区域内”参数



图 6-64　“进给和速度”对话框

7. **机床控制**

1）在“机床控制”组框中的“运动输出”选项中选择“Nurbs”，如图 6-65 所示。

2）系统弹出“Nurbs 运动”对话框，设置拟合控制公差为 0.03，如图 6-66 所示，然后单击“确定”按钮。



图 6-65　设置“运动输出”选项

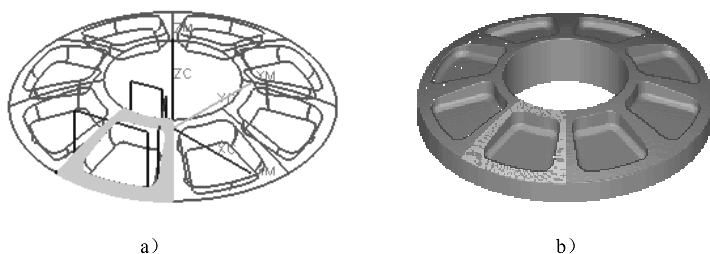


图 6-66　“Nurbs 运动”对话框

8. **生成刀具路径并验证**

1）在“操作”对话框中完成参数设置后，单击该对话框底部“操作”组框中的“生成”按钮，可生成该操作的刀具路径。单击“操作”对话框底部“操作”组框中的“切削过程模拟”按钮，弹出“刀轨可视化”对话框，然后选择“2D 动态”选项卡，单击“播放”按钮，可进行 2D 动态刀具切削过程模拟，如图 6-67 所示。

2）单击“固定轮廓铣”对话框中的“确定”按钮，接受刀具路径，并关闭“固定轮廓铣”对话框。



a）　　　　　　　　　　　　b）

图 6-67　固定轴曲面轮廓铣精加工的“切削刀具路径”和“切削验证”

a）切削刀具路径　b）切削验证

6.3.6　刀轨操作

1．复制等高轮廓铣操作

1）单击“操作导航器”工具栏上的“程序顺序视图”按钮，操作导航器按刀具路径执行顺序列出当前零件的所有操作。

① 先用鼠标选择“ZLEVEL_PROFILE_SEMIFINISH”操作，然后单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择“复制”命令，复制“ZLEVEL_PROFILE_SEMIFINISH”操作，如图 6-68 所示。

② 先用鼠标选择“FIXED_CONTOUR_FINISH”操作，然后单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择“粘贴”命令，粘贴刚才复制“ZLEVEL_PROFILE_SEMIFINISH”操作。

③ 在新复制的操作上单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择“重命名”命令，更改操作名称为“ZLEVEL_PROFILE_FINISH”，如图 6-69 所示。



图 6-68　复制操作



图 6-69　重命名操作

2）选择切削区域。单击“指定切削区域”后的按钮，弹出“切削区域”对话框，选择如图 6-70 所示的凹槽侧面为切削区域。

3）重新选择刀具。在“刀具”组框中的“刀具”下拉列表中选择“B6”刀具作为本次操作所采用的刀具，如图 6-71 所示。

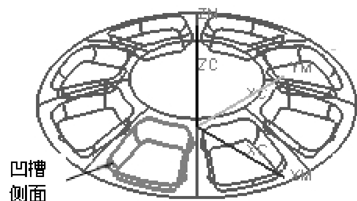


图 6-70　选择切削区域



图 6-71　重新选择刀具

4）重新选择加工方法。在“刀轨设置”组框中的“方法”下拉列表中选择“MILL_FINISH”作为本次操作所采用的方法。

5）设定切削用量。在“刀轨设置”组框中的“全局每刀深度”文本框中输入“0.10”，如图 6-72 所示。

6）设置切削参数。单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框。在“策略”选项卡中，设置“切削顺序”为“层优先”，如图 6-73 所示。

7）设置进给和速度。单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给和速度”对话框。设置“主轴速度”为“60000.00”，单位为“rpm（r/min）”；“切削”为“7200.00”，单位为“mmpm（mm/min）”，如图 6-74 所示。



图 6-72　设置切削用量

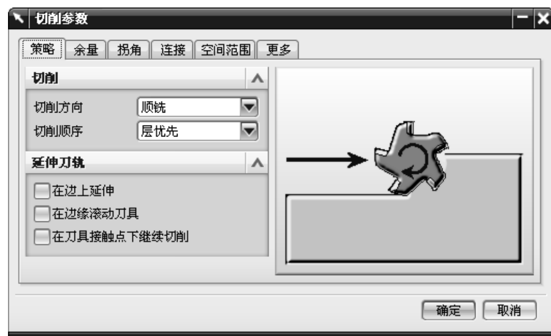


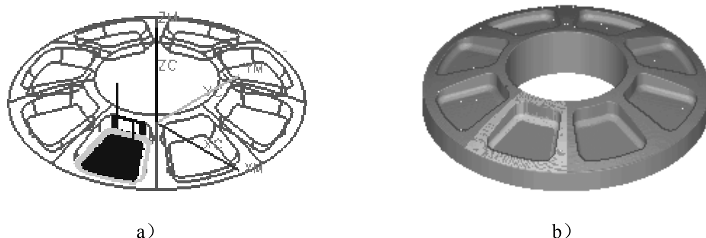
图 6-73　“策略”选项卡



图 6-74　“进给和速度”对话框图

8）在“操作”对话框中完成参数设置后，单击该对话框底部“操作”组框中的“生成”按钮，可生成该操作的刀具路径。然后单击“操作”对话框底部

“操作”组框中的“切削过程模拟”按钮，弹出“刀轨可视化”对话框，然后选择“2D 动态”选项卡，单击“播放”按钮，可进行 2D 动态刀具切削过程模拟，如图 6-75 所示。



a）　　　　　　b）

图 6-75　复制等高轮廓铣的“切削刀具路径”和“切削验证”

a）切削刀具路径　b）切削验证

2．复制固定轴曲面轮廓铣操作

1）按照复制等高轮廓铣的操作方法，复制 FIXED_CONTOUR_FINISH 操作，并将其命令为“FIXED_CONTOUR_FINISH2”，如图 6-76 所示。

2）选择切削区域。单击“指定切削区域”后的按钮，弹出“切削区域”对话框，选择如图 6-77 所示的凹槽底面为切削区域。



图 6-76　复制 FIXED_CONTOUR_FINISH2 操作

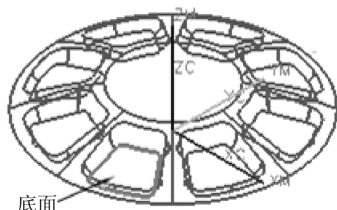


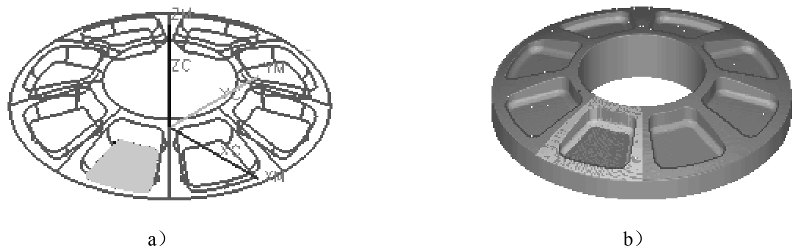
图 6-77　选择切削区域

3）在“操作”对话框中完成参数设置后，单击该对话框底部“操作”组框中的“生成”按钮，可生成该操作的刀具路径。单击“操作”对话框底部“操作”组框中的“切削过程模拟”按钮，弹出“刀轨可视化”对话框，然后选择“2D 动态”选项卡，单击“播放”按钮，可进行 2D 动态刀具切削过程模拟，如图 6-78 所示。

3．旋转阵列操作

1）在“操作导航器”窗口中选中所有的精加工操作，单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择“对象”→“变换”命令，如图 6-79 所示。

2）在弹出的“变换”对话框中选择“绕直线旋转”，“直线方法”选择“点和矢量”，选择原点（0，0，0），矢量为+Z，输入相关阵列参数，如图 6-80 所示。



a）　　　　b）

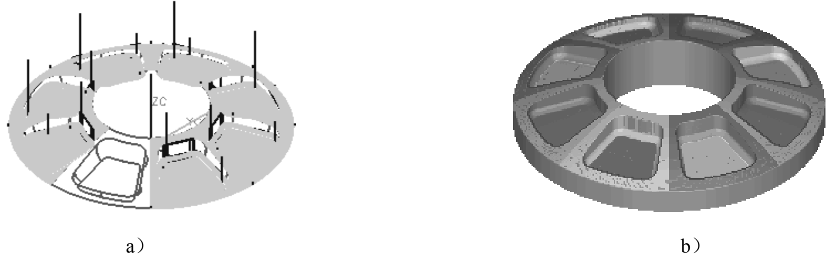
图 6-78　复制固定轴曲面轮廓铣的“切削刀具路径”和“切削验证”

a）切削刀具路径　b）切削验证



图 6-79　菜单快捷命令　　　　图 6-80　“变换”对话框

3）单击“变换”对话框中的“确定”按钮，完成刀轨变换操作，如图 6-81 所示。采用刀轨验证命令可验证所设置的刀轨，如图 6-81 所示。



a）　　　　b）

图 6-81　旋转阵列操作的“切削刀具路径”和“切削验证”

a）切削刀具路径　b）切削验证

4）选择下拉菜单“文件”→“保存”命令，保存所创建的零件文件。

6.4　实例总结

本章介绍了 UG 车轮曲面高速数控加工的方法与技巧。通过学习，读者可以领会到以下几点：

1）等高轮廓操作用于多个切削层铣削实体或曲面的轮廓。特别适用于一些形状复杂的零件，其中需要加工的表面既有平缓的曲面，又有陡峭的曲面，或者是接近垂直的斜面和曲面。

2）如果在等高轮廓铣加工中设置“在层之间切削”选项，可同时加工陡峭面和非陡峭面，以获得接近零件形状的加工结果，使精加工的加工余量更加均匀，加工的表面质量更好，这对高速加工特别重要。

3）在自动编程中，往往对不同的加工区域采用不同的加工方法，而不能简单地通过一个或两个步骤来完成所有曲面的精加工。一般来说，当加工倾斜角度较大时，采用等高轮廓加工；而对倾斜角度较小的曲面部位进行加工时，采用固定轴曲面加工。

第 7 章 UG NX 7.0 喇叭玩具凹模高速加工实例

喇叭玩具凹模如图 7-1 所示，主要由分型面和喇叭形半曲面组成，喇叭形曲面比较光顺。材料为铸铁，表面加工粗糙度值为 Ra0.8μm，工件底部安装在工作台上。

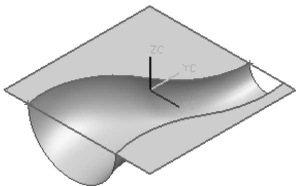


图 7-1 喇叭玩具凹模

7.1 加工方法分析

根据高速加工数控工艺要求，喇叭玩具凹模工艺路线采用“粗加工→精加工”。喇叭玩具凹模高速数控加工中所用到的切削用量如表 7-1 所示。

（1）粗加工 首先采用较大直径的刀具进行粗加工，以便于去除大量多余留量。粗加工采用型腔铣环切的方法，刀具直径为 D6R1.5 的圆鼻刀。

（2）精加工 分型面精加工采用型腔铣加工，设置铣削参数只生成一层刀轨；喇叭曲面精加工采用固定轴曲面轮廓铣，刀具直径为 D3 的球刀；采用“曲面”驱动方法，往复走刀以减少空行程。

表 7-1 喇叭玩具加工切削参数

刀具直径 /mm	刀齿数	背吃刀量 /mm	侧吃刀量 /mm	主轴转速 n /（r/min）	进给率 /（mm/min）	加工方式
6	2	0.3	1.0	51945	14545	粗加工
3	2	0.2	0.2	60000	12000	精加工

7.2 加工流程与效果图

喇叭玩具凹模的加工流程和效果图如表 7-2 所示。

表 7-2　喇叭玩具凹模的加工流程和效果图

步骤	设计知识点	设计流程效果图
Step 1： 打开文件，进入加工环境	数控加工环境是指进入 UG NX 的制造模块后进行编程作业的软件环境，选择“mill_contours”	
Step 2： 创建几何组	创建几何是在零件上定义要加工的几何对象和指定零件在机床上的加工方位	
Step 3： 创建刀具组	创建加工所需的加工刀具	
Step4： 创建加工方法组	加工方法通过对加工余量、几何体的内外公差等设置，为粗加工、半精加工和精加工设定统一的参数	
Step5： 创建型腔铣	型腔铣操作可移除平面层中的大量材料，常用于在精加工操作之前对材料进行粗铣	

（续）

步骤	设计知识点	设计流程效果图
Step6：创建型腔铣分型面精加工	通过控制切削层，使型腔铣操作只做一层切削来加工分型面	
Step7：创建固定轴轮廓铣	固定轴轮廓铣可用于精加工由轮廓曲面形成的区域的加工方法	

7.3 具体操作步骤

7.3.1 初始化加工环境

1．打开模型文件

启动 UG NX7.0 后，单击“标准”工具栏上的“打开”按钮，打开“打开部件文件”对话框，选择“laba.prt”（“光盘路径:\Chapter07\uncompleted\laba.prt”），单击“OK”按钮，文件打开后如图 7-2 所示。

2．进入加工模块

单击“标准”工具栏上的“起始”按钮，在弹出的下拉菜单中选择“加工”命令，弹出“加工环境”对话框。然后在“CAM 会话配置”中选择“cam_general”，在“要创建的 CAM 设置”中选择“mill_contour”，如图 7-3 所示。单击“确定”按钮，初始化加工环境。

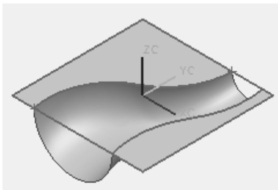


图 7-2　打开的模型文件



图 7-3　“加工环境”对话框

7.3.2　创建加工父级组

1．创建加工几何组

单击“导航器”工具栏上的“几何视图”按钮，将“操作导航器”切换到几何视图显示。

1）设置安全平面，具体操作步骤如下：

① 双击“操作导航器”窗口中的“MCS_MILL”图标，弹出“Mill Orient”对话框，如图 7-4 所示。

② 在“Mill Orient”对话框中，在“安全设置”组框中的“安全设置选项”下拉列表中选择“平面”选项，然后单击“选择安全平面”按钮，弹出“平面构造器”对话框。在图 7-5 所示的“平面构造器”对话框中选择“XC-YC”图标，在“偏置”文本框中输入“20.00”，将安全平面设置相对于 XC-YC 平面的距离为 20.00mm。单击“确定”按钮，在图形区会显示安全平面所在的位置，如图 7-6 所示。



图 7-4　“Mill Orient”对话框



图 7-5　“平面构造器”对话框

2）创建部件几何，具体步骤如下：

① 在“操作导航器”中双击“WORKPIECE”图标，弹出“铣削几何体”对话框，如图 7-7 所示。

② 部件几何。单击“几何体”组框中“指定部件”选项后的“选择或编辑部件几何体”按钮，弹出“部件几何体”对话框。单击“全选”按钮，选择所有的曲面，如图 7-8 所示。单击“确定”按钮，返回“铣削几何体”对话框。

③ 毛坯几何。单击“几何体”组框中“指定毛坯”选项后的“选择或编辑毛坯几何体”按钮，弹出“毛坯几何体”对话框。选择在图层 10 上的实体作为毛坯，单击“确定”按钮，完成毛坯几何的创建，如图 7-9 所示。

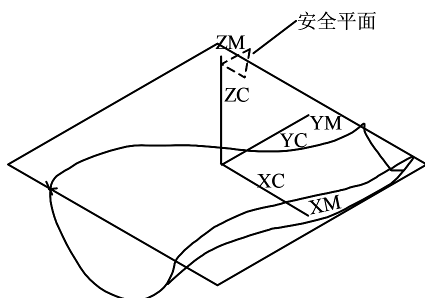


图 7-6 显示安全平面的位置



图 7-7 “铣削几何体”对话框

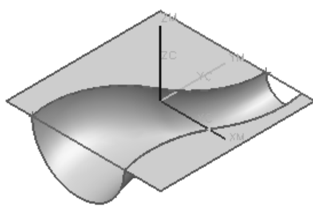


图 7-8 选择部件几何

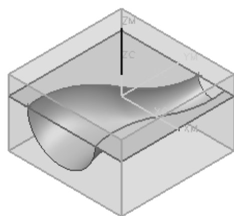


图 7-9 创建毛坯几何

2. **创建刀具组**

单击“导航器”工具栏上的“机床视图”按钮，操作导航器切换到机床刀具视图。

1）创建直径为 D6R1.5 的圆角刀，具体操作步骤如下：

① 单击“加工创建”工具栏上的“创建刀具”按钮，弹出“创建刀具”对话框。在“类型”下拉列表中选择“mill_contour”，“刀具子类型”选择“MILL”图标，在“名称”文本框中输入“D6R1.5”，如图 7-10 所示。单击“创建刀具”对话框中的“确定”按钮，弹出“铣刀 5-参数”对话框。

② 在“铣刀 5-参数”对话框中设定“直径”为“6.00”，“底圆角半径”为“1.50”，其他参数接受默认设置，如图 7-11 所示。单击“确定”按钮，完成刀具创建。

2）创建直径为 B3 的球刀，具体操作步骤如下：

① 单击“加工创建”工具栏上的“创建刀具”按钮，弹出“创建刀具”对话框。在“类型”下拉列表中选择“mill_contour”，“刀具子类型”选择“MILL”图标，在“名称”文本框中输入“B3”，如图 7-12 所示。单击“创建刀具”对话框中的“确定”按钮，弹出“铣刀 5-参数”对话框。

② 在“铣刀 5-参数”对话框中设定“直径”为“3.00”，“底圆角半径”为“1.50”，

其他参数设置如图 7-13 所示。单击“确定”按钮，完成刀具的创建。



图 7-10 “创建刀具”对话框

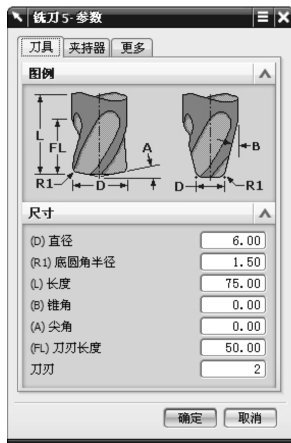


图 7-11 “铣刀 5-参数”对话框



图 7-12 “创建刀具”对话框

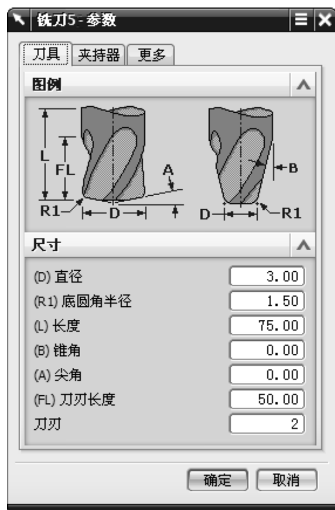


图 7-13 “铣刀 5-参数”对话框

3．设置加工方法组

单击“操作导航器”工具栏上的“加工方法视图”按钮，操作导航器切换到加工方法视图。

1）双击“操作导航器”中的“MILL_ROUGH”图标，弹出“铣削方法”对话框。在“部件余量”文本框中输入“0.30”，“内公差”和“外公差”中输入“0.05”，如图 7-14 所示。单击“确定”按钮，完成粗加工方法设定。

2）双击“操作导航器”中的“MILL_FINISH”图标，弹出“铣削方法”对话框。在“部件余量”文本框中输入“0.00”，“内公差”和“外公差”中输入“0.0005”，

如图 7-15 所示。单击“确定”按钮，完成精加工方法设定。



图 7-14　粗加工方法设定



图 7-15　精加工方法设定

7.3.3　型腔铣粗加工

单击“操作导航器”工具栏上“程序顺序视图”按钮，操作导航器切换到程序视图。

1. **创建操作**

1）单击“插入”工具栏上的“创建操作”按钮，弹出“创建操作”对话框。在“创建操作”对话框中的“类型”下拉列表中选择“mill_contour”，“操作子类型”选择第 1 行第 1 个图标（CAVITY_MILL），“程序”选择“NC_PROGRAM”，“刀具”选择“D6R1.5”，“几何体”选择“WORKPIECE”，“方法”选择“MILL_ROUGH”，在“名称”文本框中输入“CAVITY_MILL_ROUGH”，如图 7-16 所示。

2）单击“确定”按钮，弹出“型腔铣”对话框，如图 7-17 所示。



图 7-16　“创建操作”对话框



图 7-17　“型腔铣”对话框

2. 选择切削模式和设置切削用量

在“型腔铣”对话框的“刀轨设置”组框中进行“切削模式”和“切削参数”的设置，如图 7-18 所示。

1）选择切削模式：在“切削模式”下拉列表中选择“跟随部件”方式。

2）设置步距：在“步距”下拉列表中选择“恒定”，在“距离”文本框中输入“1.00”。

3）设置全局每刀深度：在“全局每刀深度”文本框中输入“0.30”。

3. 设置切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框，进行切削参数设置。

1）“策略”选项卡：“切削方向”为“顺铣”，“切削顺序”为“层优先”，其他参数设置如图 7-19 所示。



图 7-18　选择“切削模式”和设置“切削参数”

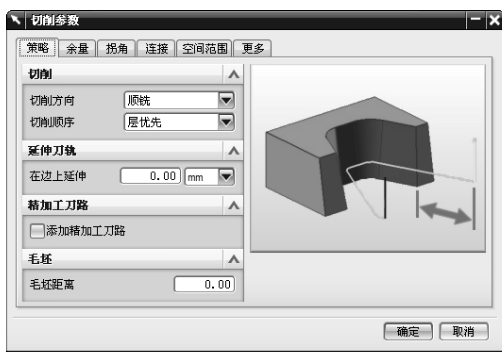


图 7-19　“策略”选项卡

2）“拐角”选项卡：“光顺”为“所有刀路”，其他参数设置如图 7-20 所示。



图 7-20　“拐角”选项卡

3）“更多”选项卡：在“原有的”组框中勾选“容错加工”复选框，如图 7-21 所示。



图 7-21 “更多”选项卡

4）单击“切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成切削参数设置。

4．设置非切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“非切削参数”按钮，弹出“非切削移动”对话框，进行非切削参数设置。

1）“进刀”选项卡：封闭区域的“进刀类型”为“螺旋线”，“直径”为“90.00”，“最小安全距离”为“0.05”，其他参数设置如图 7-22 所示。

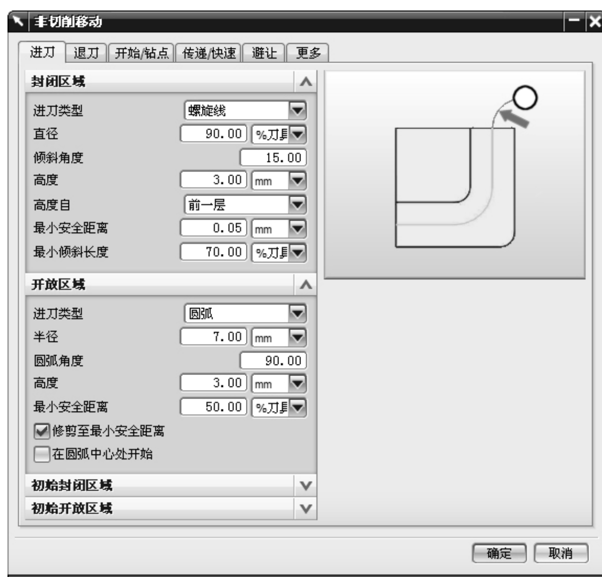


图 7-22 “进刀”选项卡

2）“退刀”选项卡：“退刀类型”为“与进刀相同”，其他参数设置如图 7-23 所示。

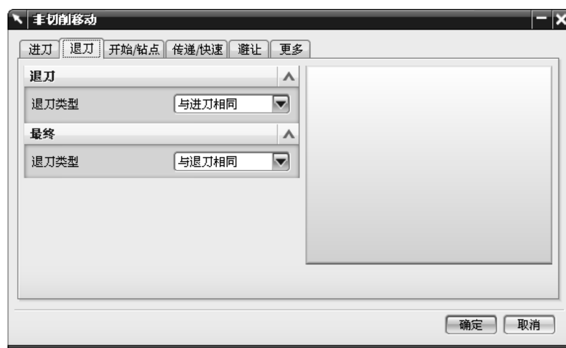


图 7-23 “退刀”选项卡

3）“开始/钻点”选项卡：“重叠距离”为“1.00”，其他接受默认设置，如图 7-24 所示。

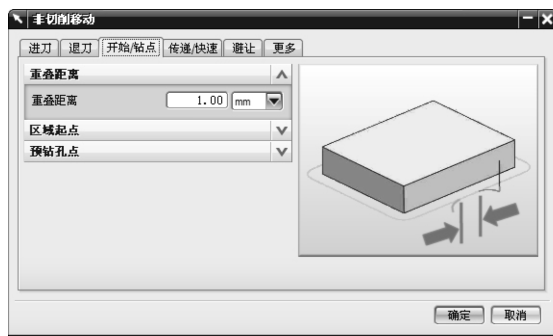


图 7-24 “开始/钻点”选项卡

4）“传递/快速”选项卡：“传递类型”为“前一平面”，其他参数设置如图 7-25 所示。



图 7-25 “传递/快速”选项卡

5）单击“非切削移动”对话框中的“确定”按钮，完成非切削参数设置。

5. 设置进给参数

单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给和速度”对话框。设置“主轴速度（rpm）”为“51940.00”，单位为“rpm（r/min）”；“切削”为“14545.00”，单位为“mmpm（mm/min）”，其他接受默认设置，如图 7-26 所示。

6. 机床控制

1）在“机床控制”组框中的“运动输出”选项中选择“Nurbs”，如图 7-27 所示。



图 7-26 “进给和速度”对话框



图 7-27 设置“运动输出”选项

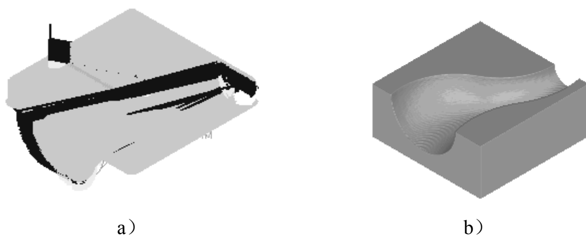
2）系统弹出“Nurbs 运动”对话框，设置拟合控制公差为 0.03，如图 7-28 所示，然后单击“确定”按钮。

7. 生成刀具路径并验证

1）在“操作”对话框中完成参数设置后，单击该对话框底部“操作”组框中的“生成”按钮，可在操作对话框下生成刀具路径，如图 7-29 所示。单击“操作”对话框底部“操作”组框中的“切削过程模拟”按钮，弹出“刀轨可视化”对话框，然后选择“2D 动态”选项卡，单击“播放”按钮，可进行 2D 动态刀具切削过程模拟，如图 7-29 所示。



图 7-28 “Nurbs 运动”对话框



a）　　b）

图 7-29　刀具路径和实体切削验证

a）刀具路径　b）实体切削验证

2）单击“确定”按钮，返回“型腔铣”对话框，然后单击“确定”按钮，完成型腔铣粗加工操作。

7.3.4　分型面型腔铣精加工

单击“操作导航器”工具栏上“程序顺序视图”按钮，操作导航器切换到程序视图。

1．创建操作

1）单击“插入”工具栏上的“创建操作”按钮，弹出“创建操作”对话框。在“创建操作”对话框中的“类型”下拉列表中选择“mill_contour”，“操作子类型”选择第 1 行第 1 个图标（CAVITY_MILL），“程序”选择“NC_PROGRAM”，“刀具”选择“D6R1.5”，“几何体”选择“MCS_MILL”，“方法”选择“MILL_FINISH”，在“名称”文本框中输入“CAVITY_MILL_FINISH”，如图 7-30 所示。

2）单击“确定”按钮，弹出“型腔铣”对话框，如图 7-31 所示。



图 7-30　“创建操作”对话框



图 7-31　“型腔铣”对话框

2．选择加工几何

1）在“几何体”组框中单击“指定部件”选项后的“选择或编辑部件几何体”按钮，弹出“部件几何体”对话框。在图形区选择如图 7-32 所示的分型曲面，然后单击“确定”按钮，返回“型腔铣”对话框。

2）在“几何体”组框中单击“指定部件”选项后的“选择或编辑毛坯几何体”按钮，弹出“毛坯几何体”对话框。在图形区选择图 7-32 所示的分型曲面，然后单击“确定”按钮，返回“型腔铣”对话框。

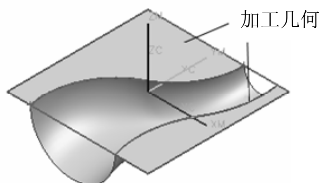


图 7-32　选择加工几何

3．设置切削层

单击“刀轨设置”组框中“切削层”按钮，弹出“切削层”对话框。选择“范围类型”为“单个”，并选中“仅在底部范围切削”选项。单击“向上”按钮，设置“测量开始位置”为“WCS 原点”，范围深度为“–2.00”，如图 7-33 所示。单击“确定”按钮完成。



提示

进行单层切削时，最好选择单个范围方式，并设置为“仅在底部范围切削”。

4．选择切削模式和设置切削参数

在“型腔铣”对话框的“刀轨设置”组框中进行“切削模式”和“切削参数”的设置，如图 7-34 所示。



图 7-33　“切削层”对话框



图 7-34　选择“切削模式”和设置“切削参数”

1）选择切削模式：在“切削模式”下拉列表中选择“跟随周边”方式。

2）设置切削步进：在“步距”下拉列表中选择“恒定”，在“距离”文本框中输入“0.40”。

5．设置切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框，进行切削参数设置。

1）“策略”选项卡：“切削方向”为“顺铣”，“切削顺序”为“层优先”，其他参数设置如图 7-35 所示。

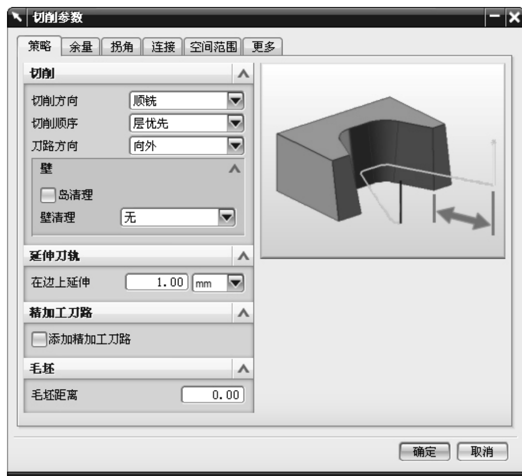


图 7-35 “策略”选项卡



提示

由于该分型面所在平面左右两侧都没凸出的材料，因此可设置“在边上延伸”，以便于清除边缘的材料。

2）“余量”选项卡：“毛坯余量”为“1.00”，其他参数设置如图 7-36 所示。

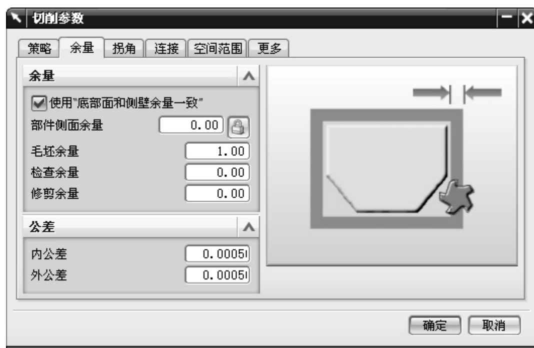


图 7-36 “余量”选项卡



提示

一定要设置毛坯余量大于0，否则在计算刀路时系统找不到要切削的材料。

3）“拐角”选项卡：“光顺”为“所有刀路”，其他参数设置如图7-37所示。

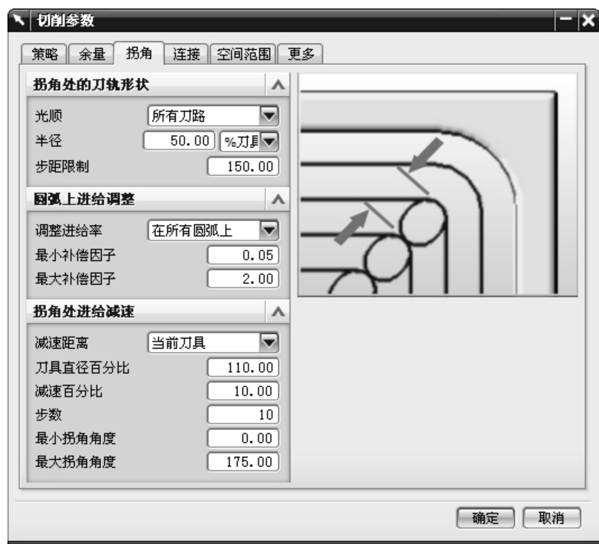


图7-37　“拐角”选项卡

4）“更多”选项卡：在“原有的”组框中勾选“容错加工”复选框，如图7-38所示。

5）单击“切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成切削参数设置。



图7-38　“更多”选项卡

6. 设置非切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“非切削参数”按钮，弹出“非切削移动”对话框，进行非切削参数设置。

1）“进刀”选项卡：封闭区域的“进刀类型”为“螺旋线”，“直径”为“90.00”，“最小安全距离”为“0.05”，其他参数设置如图 7-39 所示。

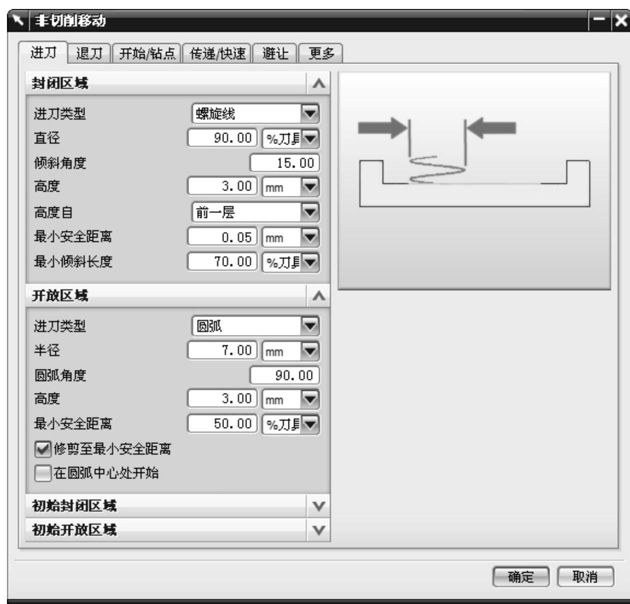


图 7-39 “进刀”选项卡

2）“退刀”选项卡：“退刀类型”为“与进刀相同”，其他参数设置如图 7-40 所示。



图 7-40 “退刀”选项卡

3）“开始/钻点”选项卡：“重叠距离”为“1.00”，其他接受默认设置，如图 7-41 所示。

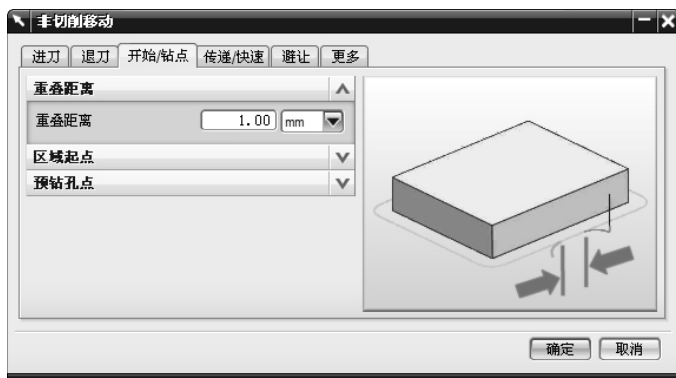


图 7-41 “开始/钻点”选项卡

4）“传递/快速”选项卡：“传递类型”为“前一平面”，其他参数设置如图 7-42 所示。



图 7-42 “传递/快速”选项卡

5）单击“非切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成非切削参数设置。

7．设置进给参数

单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给和速度”对话框。设置“主轴速度（rpm）”为“51940.00”，单位为“rpm（r/min）”；“切削”为“14545.00”，单位为“mmpm（mm/min）”，其他接受默认设置，如图 7-43 所示。

8. 机床控制

1）在“机床控制”组框中的“运动输出”选项中选择“Nurbs”，如图 7-44 所示。



图 7-43 “进给和速度”对话框



图 7-44 设置“运动输出”选项

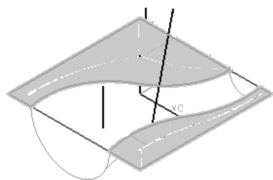
2）系统弹出“Nurbs 运动”对话框，设置拟合控制公差为 0.03，如图 7-45 所示，然后单击“确定”按钮。



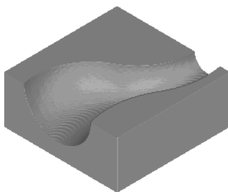
图 7-45 “Nurbs 运动”对话框

9. 生成刀具路径并验证

1）在“操作”对话框中完成参数设置后，单击该对话框底部“操作”组框中的“生成”按钮，可生成刀具路径，如图 7-46 所示。单击“操作”对话框底部“操作”组框中的“切削过程模拟”按钮，弹出“刀轨可视化”对话框，然后选择“2D 动态”选项卡，单击“播放”按钮，可进行 2D 动态刀具切削过程模拟，如图 7-46 所示。



a）



b）

图 7-46 分型面型腔铣精加工的“刀具路径”和“实体切削验证”
a）刀具路径 b）实体切削验证

2）单击“确定”按钮，返回“型腔铣”对话框，然后单击“确定”按钮，完成操作。

7.3.5 固定轴曲面轮廓铣精加工

单击“操作导航器”工具栏上的“程序顺序视图”按钮，操作导航器切换到程序视图。

1．**创建操作**

1）单击“加工创建”工具栏上的“创建操作”按钮，弹出“创建操作”对话框。在“创建操作”对话框中的“类型”下拉列表中选择“mill_contour”，“操作子类型”选择第 2 行第 1 个图标（FIXED_CONTOUR），“程序”选择“NC_PROGRAM”，“刀具”选择“B3”，“几何体”选择“WORKPIECE”，“方法”选择“MILL_FINISH”，在“名称”文本框中输入“FIXED_CONTOUR_FINISH”，如图 7-47 所示。

2）单击“确定”或者“应用”按钮，弹出“固定轴轮廓铣”对话框，如图 7-48 所示。



图 7-47 “创建操作”对话框



图 7-48 “固定轴轮廓铣”对话框

2．**选择加工几何**

单击“几何体”组框中“指定切削区域”选项后的“选择或编辑切削区域”按钮，弹出“切削区域”对话框。在图形区选择如图 7-49 所示的曲面作为切削区域，单击“确定”按钮完成。

3．选择驱动方法并设置驱动参数

1）在“驱动方法”组框中的“方法”下拉列表中选取“曲面”，系统弹出“曲面驱动方法”对话框，如图 7-50 所示。

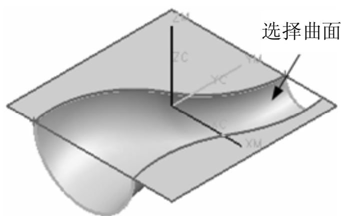


图 7-49　选择切削区域



图 7-50　“曲面驱动方法”对话框

2）在“驱动几何体”组框中单击“指定驱动几何体”选项后的“选择或编辑驱动几何体”按钮，弹出“驱动几何体”对话框，选择如图 7-51 所示的曲面。然后单击“确定”按钮，返回“表面积驱动方法”对话框。

3）单击“切削方向”按钮，弹出“切削方向确认”对话框，选择如图 7-52 所示箭头所指定方向为切削方向。然后单击“确定”按钮，返回“表面积驱动方法”对话框。

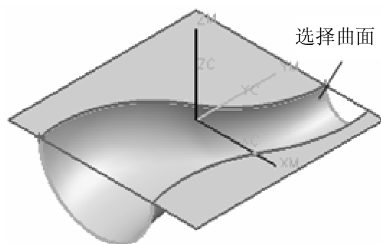


图 7-51　选择驱动曲面

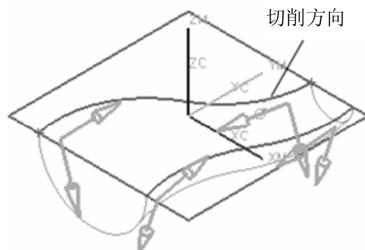


图 7-52　选择切削方向

4）单击“材料反向”按钮，确认材料侧方向如图 7-53 所示。

5）在“驱动设置”组框中选择“切削模式”为“往复”，“步距”为“残余高度”，并输入“残余高度”为“0.003”；在“更多”组框中设置“切削步长”为“公差”，“内公差”和“外公差”为“0.003”，如图 7-54 所示。

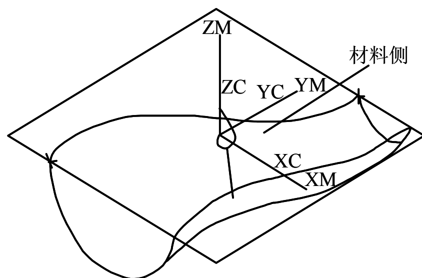


图 7-53　设置材料侧方向



图 7-54 “驱动参数”设置

6）单击“曲面驱动方法”对话框中的“确定”按钮，完成驱动方法设置，返回“可变轮廓铣”对话框。

4. 设置切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框，设置切削加工参数。

1）“策略”选项卡：取消“在边上延伸”复选框，取消“在边缘滚动刀具”复选框，其他接受默认设置，如图 7-55 所示。

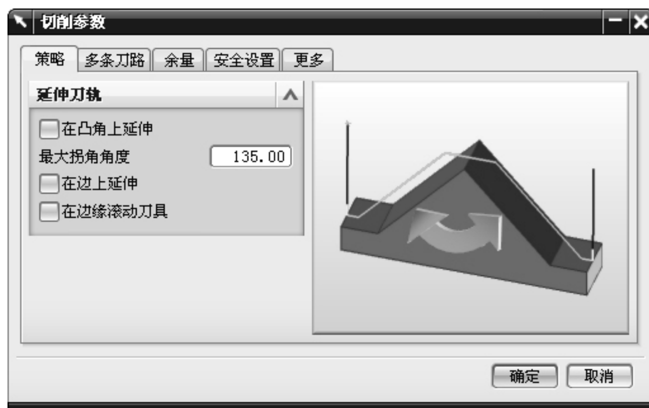


图 7-55 “策略”选项卡

2）“更多”选项卡：在“最大步长”文本框中输入“5.00”并选择“%刀

具直径”；取消“应用于步距”复选框，勾选“优化轨迹”复选框，如图 7-56 所示。

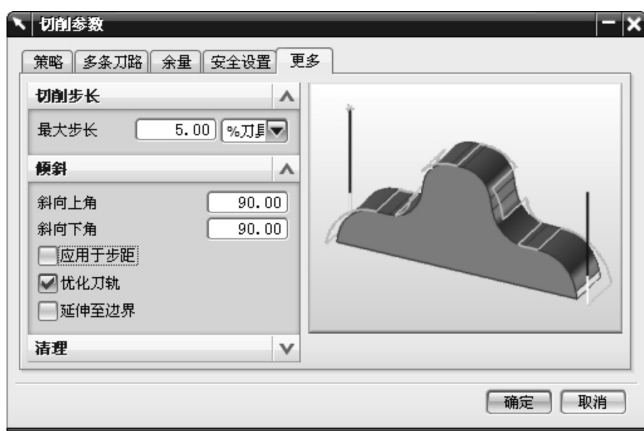


图 7-56 “更多”选项卡

3）单击“切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成切削参数设置。

5. **设置非切削参数**

单击“刀轨设置”组框中的“非切削参数”按钮，弹出“非切削移动”对话框，进行非切削参数设置。

1）“进刀”选项卡：“进刀类型”为“圆弧-与刀轴平行”，“半径”为“50.00”，其他参数设置如图 7-57 所示。



图 7-57 “进刀”选项卡

2）“退刀”选项卡：“退刀类型”为“与进刀相同”，其他参数设置如图 7-58 所示。



图 7-58 “退刀”选项卡

3）“传递/快速”选项卡：“安全设置选项”为“使用继承的”，其他参数设置如图 7-59 所示。

① 在“区域之间”设置“逼近”、“离开”、“移刀”参数，如图 7-60 所示。



图 7-59 “传递/快速”选项卡



图 7-60 设置“区域之间”参数

② 在“区域内”和“初始的和最终的”组框中设置“逼近”、“离开”、“移刀”参数，如图 7-61 所示。

4）单击“非切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成非切削参数设置。

6. 设置进给参数

单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给和速度”对话框。设置“主轴速度（rpm）”为“60000.00”，单位为“rpm（r/min）”；“切削”为“12000.00”，单位为“mmpm（mm/min）”，如图 7-62 所示。



图 7-61　设置“区域内”参数



图 7-62　“进给和速度”对话框

7. 机床控制

1）在“机床控制”组框中的“运动输出”选项中选择“Nurbs”，如图 7-63 所示。

2）系统弹出“Nurbs 运动”对话框，设置拟合控制公差为 0.03，如图 7-64 所示，然后单击“确定”按钮。



图 7-63　设置“运动输出”选项

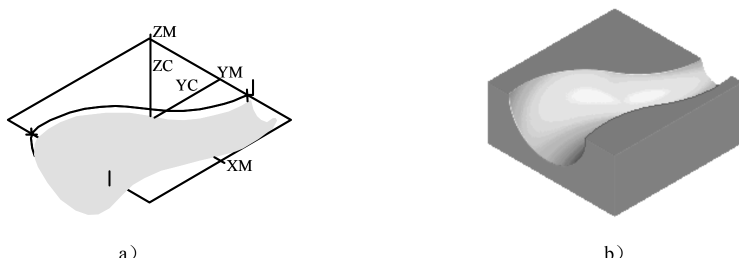


图 7-64　“Nurbs 运动”对话框

8. 生成刀具路径并验证

1）在“操作”对话框中完成参数设置后，单击该对话框底部“操作”组框

中的“生成”按钮，可生成该操作的刀具路径。单击“操作”对话框底部“操作”组框中的“切削过程模拟”按钮，弹出“刀轨可视化”对话框，然后选择“2D 动态”选项卡，单击“播放”按钮，可进行 2D 动态刀具切削过程模拟，如图 7-65 所示。



a）　　b）

图 7-65　固定轴曲面轮廓铣精加工的“切削刀具路径”和“切削验证”

a）切削刀具路径　b）切削验证

2）单击“固定轮廓铣”对话框中的“确定”按钮，接受刀具路径，并关闭“固定轴轮廓铣”对话框。

3）选择下拉菜单“文件”→“保存”命令，保存所创建的零件文件。

7.4　实例总结

本章以喇叭玩具凹模为例，讲解了 UG NX 7.0 模具零件铣加工的方法和具体步骤。读者在学习过程中应重点注意的是：对于凹模类零件的精加工，通常要进行分型面精加工和凹模曲面精加工。分型面精加工可采用面铣或型腔铣的方法进行，采用型腔铣时必须指定切削层的范围，以保证加工操作只进行单层切削；凹模曲面精加工一般采用固定轴曲面铣方式，要根据各种曲面不同的形态来选择合适的驱动方法。

第 8 章　UG NX 7.0 鼠标凸模高速加工实例

鼠标凸模如图 8-1 所示，由分型面和鼠标曲面组成。鼠标曲面包括陡峭的侧面和顶面，两个片体之间用圆角连接。材料为高硬模具钢，表面加工粗糙度值为 *Ra*0.8μm，工件底部安装在工作台上。

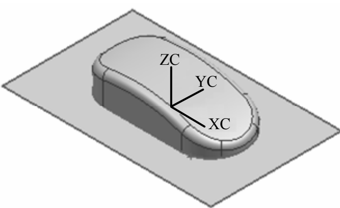


图 8-1　鼠标凸模

8.1　加工方法分析

根据高速加工数控工艺要求，鼠标凸模采用工艺路线为“粗加工”→“半精加工”→“精加工”。其高速数控加工中所用到的切削用量如表 8-1 所示。

（1）粗加工　首先采用较大直径的刀具进行粗加工，以便于去除大量多余留量。粗加工采用型腔铣环切的方法，刀具直径为 D10R2 的圆鼻刀。

（2）半精加工　利用半精加工来获得较为均匀的加工余量。半精加工采用等高轮廓加工方式，同时为了获得更好的表面质量，增加了在层间切削选项，刀具直径为 D6R1.5 的圆鼻刀。

（3）精加工　精加工采用固定轴曲面轮廓铣，刀具直径为 D5 的球刀，采用“表面积”驱动方法，往复走刀以减少空行程。

表 8-1　鼠标凸模加工切削参数

刀具直径/mm	刀　齿　数	背吃刀量/mm	侧吃刀量/mm	主轴转速 *n*/（r/min）	进给率/（mm/min）	加 工 方 式
10	2	0.3	1.0	27 850	9 470	粗加工
6	2	0.15	-	35 000	12 000	半精加工
4	2	-	-	60 000	12 000	精加工

8.2　加工流程与效果图

鼠标凸模的加工流程和效果图如表 8-2 所示。

表 8-2　鼠标凸模的加工流程和效果图

步　　骤	设计知识点	设计流程效果图
Step 1：打开文件，进入加工环境	数控加工环境是指进入 UG NX 的制造模块后进行编程作业的软件环境，选择“mill_contours”	
Step 2：创建几何组	“创建几何”是在零件上定义要加工的几何对象和指定零件在机床上的加工方位	
Step 3：创建刀具组	创建加工所需的加工刀具	
Step4：创建加工方法组	通过对加工余量、几何体的内外公差等设置，为粗加工、半精加工和精加工设定统一的参数	
Step5：创建型腔铣	型腔铣操作可移除平面层中的大量材料，常用于在精加工操作之前对材料进行粗铣	

（续）

步　骤	设计知识点	设计流程效果图
Step6：创建等高轮廓铣半精加工	等高轮廓铣操作用于多个切削层铣削实体或曲面的轮廓，特别适合于陡峭曲面的加工	
Step7：创建固定轴轮廓铣精加工	固定轴轮廓铣可用于精加工由轮廓曲面形成的区域的加工方法	
Step8：创建等高轮廓铣精加工	等高轮廓铣操作用于多个切削层铣削实体或曲面的轮廓，特别适合于陡峭曲面的加工	
Step9：创建型腔铣分型面精加工	通过控制切削层，使型腔铣操作只做一层切削来加工分型面	

8.3　具体操作步骤

8.3.1　初始化加工环境

1．打开模型文件

启动 UG NX 7.0 后，单击“标准”工具栏上的“打开”按钮，打开“打开部件文件”对话框，选择“shubiao.prt”（“光盘路径：\Chapter08\uncompleted\shubiao.prt”），单击“OK”按钮，文件打开后如图 8-2 所示。

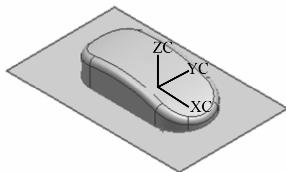


图 8-2　打开的模型文件

2．进入加工模块

单击“标准”工具栏上的“起始”按钮，在弹出下拉菜单中选择“加工”命令，弹出“加工环境”对话框。然后在“CAM 会话配置”中选择“cam_general”，在“要创建的 CAM 设置”中选择“mill_contour”，如图 8-3 所示。单击“确定”按钮，初始化加工环境。



图 8-3 “加工环境”对话框

8.3.2　创建加工父级组

1. 创建加工几何组

单击“导航器”工具栏上的“几何视图”按钮，将“操作导航器”切换到几何视图显示。

1）设置安全平面，具体操作步骤如下：

① 双击“操作导航器”窗口中的“MCS_MILL”图标，弹出“Mill Orient”对话框，如图 8-4 所示。

② 在“Mill Orient”对话框中，在“安全设置”组框中的“安全设置选项”下拉列表中选择“平面”选项，然后单击“选择安全平面”按钮，弹出“平面构造器”对话框。在如图 8-5 所示的“平面构造器”对话框中选择“XC-YC”图标，在“偏置”文本框中输入“50.00”，将安全平面设置相对于 XC-YC 平面的距离为 50.00mm。单击“确定”按钮，在图形区会显示安全平面所在的位置，如图 8-6 所示。

2）创建部件几何，具体步骤如下：

① 在“操作导航器”中双击“WORKPIECE”图标，弹出“铣削几何体”对话框，如图 8-7 所示。

② 单击“几何体”组框中“指定部件”选项后的“选择或编辑部件几何体”按钮，弹出“部件几何体”对话框。单击“全选”按钮，选择所有的曲面，如图 8-8 所示。单击“确定”按钮，返回“铣削几何体”对话框。

③ 单击“几何体”组框中“指定毛坯”选项后的“选择或编辑毛坯几何体”按钮，弹出“毛坯几何体”对话框。选择在图层 10 上的实体作为毛坯，单击“确定”按钮，完成毛坯几何的创建，如图 8-9 所示。



图 8-4　“Mill Orient”对话框



图 8-5　“平面构造器”对话框

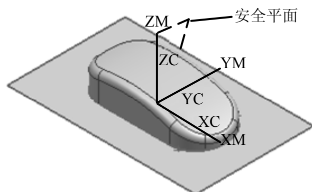


图 8-6　显示安全平面的位置



图 8-7　“铣削几何体”对话框

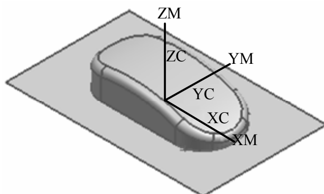


图 8-8　选择部件几何体

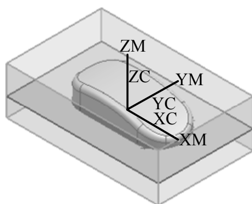


图 8-9　创建毛坯几何体

2. 创建刀具组

单击“导航器”工具栏上的“机床视图”按钮，操作导航器切换到机床刀具视图。

1）创建直径为 D10R2 的圆角刀，具体操作步骤如下：

① 单击“加工创建”工具栏上的“创建刀具”按钮，弹出“创建刀具”对话框。在“类型”下拉列表中选择“mill_planar”，“刀具子类型”选择“MILL”图标，在“名称”文本框中输入“D10R2”，如图 8-10 所示。单击“创建刀具”对话框中的“确定”按钮，弹出“铣刀 5-参数”对话框。

② 在“铣刀 5-参数”对话框中设定“直径”为“10.00”，“底圆角半径”为“2.00”，其他参数接受默认设置，如图 8-11 所示。单击“确定”按钮，完成刀具创建。



图 8-10 “创建刀具”对话框

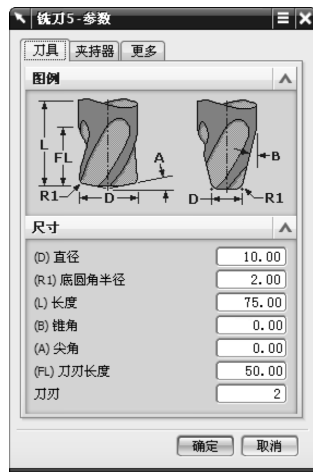


图 8-11 “铣刀 5-参数”对话框

2）创建直径为 D6R1.5 的圆角刀，具体操作步骤如下：

① 单击“加工创建”工具栏上的“创建刀具”按钮，弹出“创建刀具”对话框。在“类型”下拉列表中选择“mill_planar”，“刀具子类型”选择“MILL”图标，在“名称”文本框中输入“D6R1.5”，如图 8-12 所示。单击“创建刀具”对话框中的“确定”按钮，弹出“铣刀 5-参数”对话框。

② 在“铣刀 5-参数”对话框中设定“直径”为“6.00”，“底圆角半径”为“1.50”，其他参数接受默认设置，如图 8-13 所示。单击“确定”按钮，完成刀具创建。



图 8-12 “创建刀具”对话框

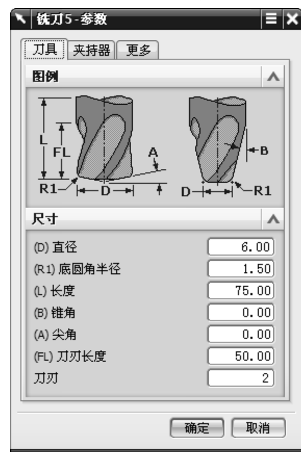


图 8-13 “铣刀 5-参数”对话框

3）创建名称为“B4”的球刀，具体操作步骤如下：

① 单击“加工创建”工具栏上的“创建刀具”按钮，弹出“创建刀具”对话框。在“类型”下拉列表中选择“mill_planar”，“刀具子类型”选择“MILL”图标，在“名称”文本框中输入“B4”，如图 8-14 所示。单击“创建刀具”对话框中的“确定”按钮，弹出“铣刀 5-参数”对话框。

② 在“铣刀 5-参数”对话框中设定“直径”为“4.00”，“底圆角半径”为“2.00”，其他参数设置如图 8-15 所示。单击“确定”按钮，完成刀具的创建。



图 8-14 “创建刀具”对话框

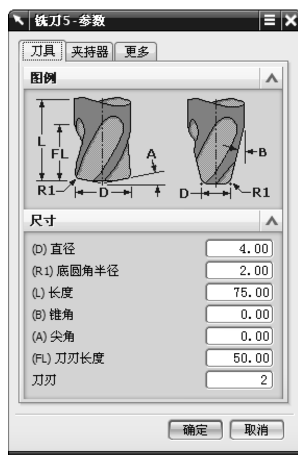


图 8-15 “铣刀 5-参数”对话框

3. 设置加工方法组

单击“操作导航器”工具栏上的“加工方法视图”按钮，操作导航器切换到加工方法视图。

1）双击“操作导航器”中的“MILL_ROUGH”图标，弹出“铣削方法”对话框。在“部件余量”文本框中输入“0.30”，“内公差”和“外公差”中输入“0.05”，如图 8-16 所示。单击“确定”按钮，完成粗加工方法设置。



图 8-16 粗加工方法设置

2）双击“操作导航器”中的“MILL_SEMI_FINISH”图标，弹出“铣削方法”对话框。在“部件余量”文本框中输入“0.10”，“内公差”和“外公差”中输入“0.005”，如图 8-17 所示。单击“确定”按钮，完成半精加工方法设置。

3）双击“操作导航器”中的“MILL_FINISH”图标，弹出“铣削方法”对话框。在“部件余量”文本框中输入“0.00”，“内公差”和“外公差”中输入“0.0005”，如图 8-18 所示。单击“确定”按钮，完成精加工方法设置。



图 8-17 半精加工方法设置



图 8-18 精加工方法设置

8.3.3 型腔铣粗加工

单击“操作导航器”工具栏上“程序顺序视图”按钮，操作导航器切换到程序视图。

1. 创建操作

1）单击“插入”工具栏上的“创建操作”按钮，弹出“创建操作”对话框。在“创建操作”对话框中的“类型”下拉列表中选择“mill_contour”，“操作子类型”选择第 1 行第 1 个图标（CAVITY_MILL），“程序”选择“NC_PROGRAM”，“刀具”选择“D10R2”，“几何体”选择“WORKPIECE”，“方法”选择“MILL_ROUGH”，在“名称”文本框中输入“CAVITY_MILL_ROUGH”，如图 8-19 所示。

2）单击“确定”按钮，弹出“型腔铣”对话框，如图 8-20 所示。

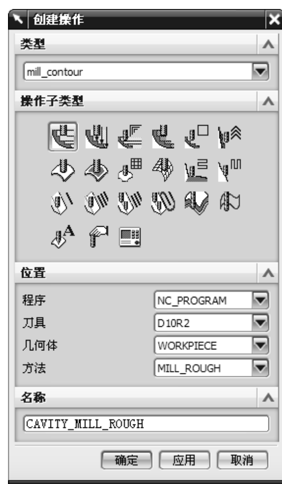


图 8-19 “创建操作”对话框



图 8-20 “型腔铣”对话框

2．选择切削模式和设置切削参数

在“型腔铣”对话框的“刀轨设置”组框中进行“切削模式”和“切削参数”的设置，如图 8-21 所示。

1）选择切削模式：在“切削模式”下拉列表中选择“跟随部件”方式。

2）设置步距：在“步距”下拉列表中选择“恒定”，在“距离”文本框中输入“1.00”。

3）设定全局每刀深度：在“全局每刀深度”文本框中输入“0.30”。



图 8-21 “切削模式”和“切削参数”的设置

3．设置切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框，进行切削参数的设置。

1）“策略”选项卡：“切削方向”为“顺铣”，“切削顺序”为“层优先”，其他参数设置如图 8-22 所示。

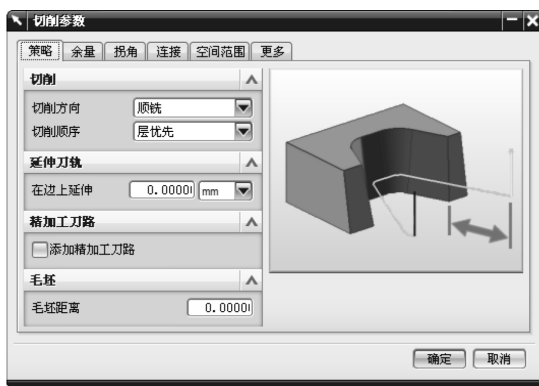


图 8-22 “策略”选项卡

2）“拐角”选项卡：“光顺”为“所有刀路”，其他参数设置如图 8-23 所示。


提示

圆弧进给调整是指刀具在铣削拐角时，保证刀具外侧切削速度不变。打开该选项，在拐角处采用圆进给率补偿，这样在铣削拐角时，可使铣削更加均匀，也减少了刀具切入或偏离拐角材料的机会。

3）“更多”选项卡：在“原有的”组框中，勾选“容错加工”复选框，如图 8-24 所示。

4）单击“切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成切削参数设置。

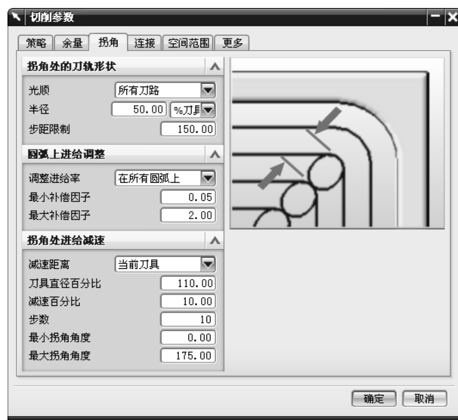


图 8-23 “拐角”选项卡



图 8-24 “更多”选项卡

4. **设置非切削参数**

单击“刀轨设置”组框中的“非切削参数”按钮，弹出“非切削移动”对话框，进行非切削参数设置。

1）“进刀”选项卡：封闭区域的“进刀类型”为“螺旋线”，“直径”为“90.00”，“最小安全距离”为“50.00”，其他参数设置如图 8-25 所示。

2）“退刀”选项卡：“退刀类型”为“与进刀相同”，其他参数设置如图 8-26 所示。

3）“开始/钻点”选项卡：“重叠距离”为“1.00”，其他接受默认设置，如图 8-27 所示。

4）“传递/快速”选项卡：“传递类型”为“前一平面”，其他参数设置如图 8-28 所示。

5）单击“非切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成“非切削参数”的设置。

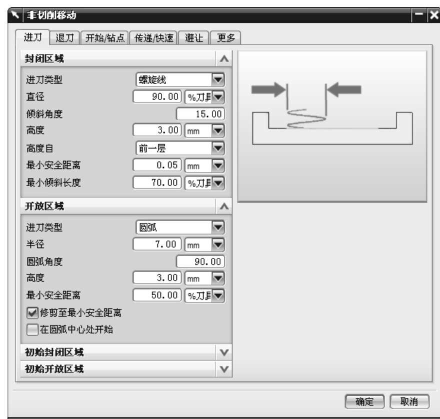


图 8-25 “进刀”选项卡



图 8-26　“退刀”选项卡

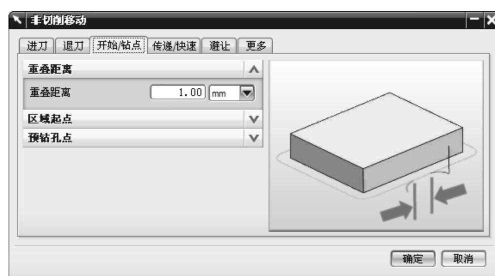


图 8-27　“开始/钻点”选项卡

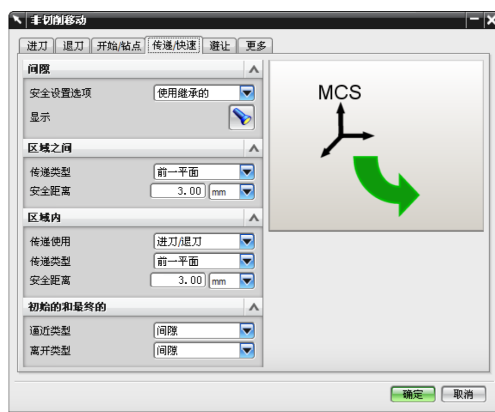


图 8-28　“传递/快速”选项卡

5．设置进给参数

单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给和速度”对话框。设置“主轴转速（rpm）”为“27850.00”，单位为“rpm（r/min）”；“切削”为“9470.00”，单位为“mmpm（mm/min）”，其他接受默认设置，如图 8-29 所示。



图 8-29 “进给和速度”对话框

6. 机床控制

1）在“机床控制”组框中的“运动输出”选项中选择“Nurbs”，如图 8-30 所示。

2）系统弹出“Nurbs 运动”对话框，设置拟合控制公差为 0.0300，如图 8-31 所示，然后单击“确定”按钮。



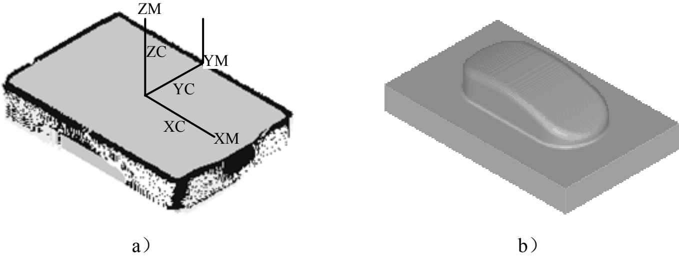
图 8-30 设置“运动输出”选项

7. 生成刀具路径并验证

1）在“操作”对话框中完成参数设置后，单击该对话框底部“操作”组框中的“生成”按钮，可在操作对话框下生成刀具路径，如图 8-32 所示。单击“操作”对话框底部“操作”组框中的“切削过程模拟”按钮，弹出“刀轨可视化”对话框，然后选择“2D 动态”选项卡，单击“播放”按钮，可进行 2D 动态刀具切削过程模拟，如图 8-32 所示。



图 8-31 “Nurbs 运动”对话框



a） b）

图 8-32 型腔铣粗加工的“刀具路径”和“实体切削验证”

a）刀具路径 b）实体切削验证

2）单击“确定”按钮，返回“型腔铣”对话框，然后单击“确定”按钮，完成型腔铣粗加工操作。

8.3.4　等高轮廓铣半精加工

单击“操作导航器”工具栏上的“程序顺序视图”按钮，操作导航器切换到程序视图。

1．创建操作

1）单击“加工创建”工具栏上的“创建操作”按钮，弹出“创建操作”对话框。在“创建操作”对话框中的“类型”下拉列表中选择“mill_contour”，“操作子类型”选择第 1 行第 5 个图标（ZLEVEL_PROFILE），“程序”选择“NC_PROGRAM”，“刀具”选择“D6R1.5”，“几何体”选择“WORKPIECE”，“方法”选择“MILL_SEMI_FINISH”，在“名称”文本框中输入“ZLEVEL_ PROFILE_SEMIFINISH”，如图 8-33 所示。

2）单击“确定”或者“应用”按钮，弹出“深度加工轮廓”对话框，如图 8-34 所示。



图 8-33　“创建操作”对话框



图 8-34　“深度加工轮廓”对话框

2．指定修剪边界

1）单击“几何体”组框中的“指定修剪边界”后的“选择或编辑修剪边界”按钮，弹出“修剪边界”对话框，在“过滤器类型”中选择“曲线边界”，“平面”为“自动”，“修剪侧”为“外部”，如图 8-35 所示。

2）在图形区选择图 8-36 所示的边线作为修剪边界，单击“确定”按钮完成。

3．设置合并距离和切削深度

在“刀轨设置”组框中设置相关参数，如图 8-37 所示。

1）在“陡峭空间范围”下拉列表中选择“无”选项。

2）在“合并距离”文本框中输入“3.00”，“最小切削深度”输入“1.00”，在“全局每刀深度”文本框中输入“0.15”。



图 8-35 “修剪边界”对话框

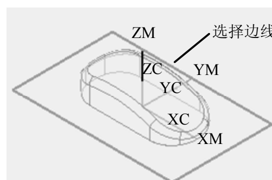


图 8-36 选择修剪边界



图 8-37 设置刀轨参数

4．设置切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框，设置切削加工参数。

1）“策略”选项卡：“切削方向”为“顺铣”，“切削顺序”为“深度优先”，取消“在边上延伸”和“在边缘滚动刀具”复选框，其他接受默认设置，如图 8-38 所示。

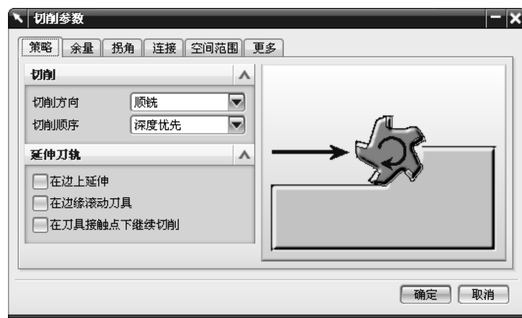


图 8-38 “策略”选项卡

2）“拐角”选项卡：“光顺”为“所有刀路”，其他参数设置如图 8-39 所示。



图 8-39 “拐角”选项卡

3）“连接”选项卡：“层到层”为“沿部件斜进刀”，勾选“在层之间切削”和“短距离移动上的进给”复选框，如图 8-40 所示。

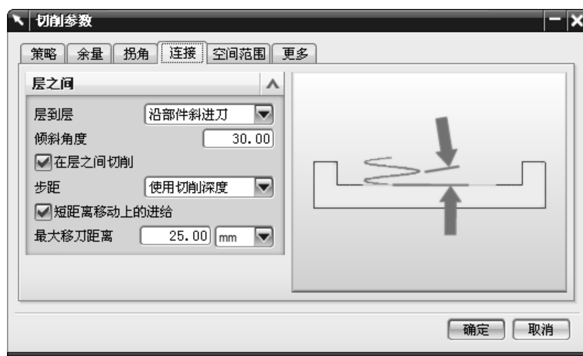


图 8-40 “连接”选项卡

4）单击“切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成切削参数设置。

5. 设置非切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“非切削参数”按钮，弹出“非切削移动”对话框，进行非切削参数的设置。

1）“进刀”选项卡：“开放区域”的“进刀类型”为“圆弧”，“初始开放区域”的“进刀类型”为“与开放区域相同”，其他参数设置如图 8-41 所示。

2）“退刀”选项卡：“退刀类型”为“与进刀相同”，其他参数设置如图 8-42

所示。

3）“传递/快速”选项卡：“安全设置选项”为“使用继承的”，其他参数设置如图 8-43 所示。

4）单击“非切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成非切削参数设置。

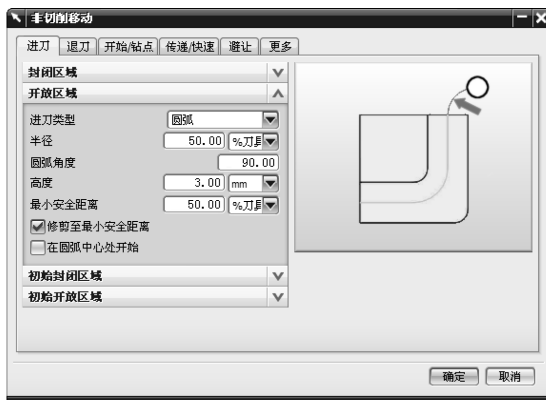


图 8-41 “进刀”选项卡



图 8-42 “退刀”选项卡



图 8-43 “传递/快速”选项卡

6. 设置进给参数

单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给和速度”对话框。设置“主轴速度(rpm)”为“35000.00”，单位为“rpm（r/min）”；“切削”为“12000.00”，单位为“mmpm（mm/min）”，其他接受默认设置，如图 8-44 所示。



图 8-44 “进给和速度”对话框

7. 机床控制

1）在“机床控制”组框中的“运动输出”选项中选择“Nurbs”，如图 8-45 所示。

2）系统弹出“Nurbs 运动”对话框，设置拟合控制公差为 0.03，如图 8-46 所示，然后单击“确定”按钮。



图 8-45 设置“运动输出”选项

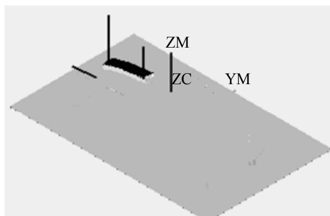


图 8-46 “Nurbs 运动”对话框

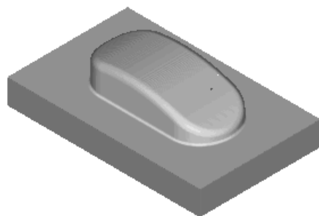
8. 生成刀具路径并验证

1）在“操作”对话框中完成参数设置后，单击该对话框底部“操作”组框中的“生成”按钮，可在操作对话框下生成刀具路径，如图 8-47 所示。

2）单击“操作”对话框底部“操作”组框中的“切削过程模拟”按钮，弹出“刀轨可视化”对话框，然后选择“2D 动态”选项卡，单击“播放”按钮，可进行 2D 动态刀具切削过程模拟，如图 8-47 所示。



a）



b）

图 8-47 等高轮廓铣半精加工的“刀具路径”和“实体切削验证”

a）刀具路径　b）实体切削验证

3）单击“深度加工轮廓”对话框中的“确定”按钮，接受刀具路径，并关闭“深度加工轮廓”对话框。

8.3.5 固定轴曲面轮廓铣精加工

单击“操作导航器”工具栏上的“程序顺序视图”按钮，操作导航器切换到程序视图。

1. 创建操作

1）单击“加工创建”工具栏上的“创建操作”按钮，弹出“创建操作”对话框。在“创建操作”对话框中的“类型”下拉列表中选择“mill_contour”，“操作子类型”选择第 2 行第 1 个图标（FIXED_CONTOUR），“程序”选择“NC_PROGRAM”，“刀具”选择“B4”，“几何体”选择“WORKPIECE”，“方法”选择“MILL_FINISH”，在“名称”文本框中输入“FIXED_CONTOUR_FINISH”，如图 8-48 所示。

2）单击“确定”或者“应用”按钮，弹出“固定轮廓铣”对话框，如图 8-49 所示。



图 8-48 创建操作对话框



图 8-49 “固定轮廓铣”对话框

2. 选择加工几何

单击“几何体”组框中“指定切削区域”选项后的“选择或编辑切削区域”按钮，弹出“切削区域”对话框。在图形区选择图 8-50 所示的曲面作为切削区域，单击“确定”按钮完成。

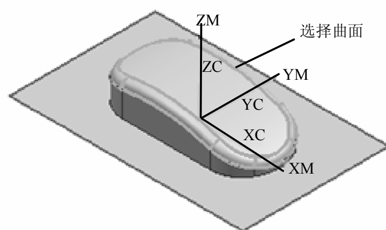


图 8-50　选择切削区域

3．选择驱动方法并设置驱动参数

1）在“驱动方法”组框中的“方法”下拉列表中选取“区域铣削”，系统弹出“区域铣削驱动方法”对话框，如图 8-51 所示。

2）在“驱动设置”组框中选择“切削模式”为“跟随周边”，“步距”为“残余高度”，并输入“残余高度”为“0.05”，如图 8-52 所示。



图 8-51　“区域铣削驱动方法”对话框



图 8-52　驱动参数设置

3）单击“区域铣削驱动方法”对话框中的“确定”按钮，完成驱动方法设置，返回“固定轮廓铣”对话框。

4．设置切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框，设置切削加工参数。

1）“策略”选项卡：取消“在边上延伸”和“在边缘滚动刀具”复选框，其他接受默认设置，如图 8-53 所示。

2）“拐角”选项卡：“光顺”为“所有刀路”，其他参数设置如图 8-54 所示。

3）“更多”选项卡：在“最大步长”文本框中输入“5.00”并选择“%刀具直径”，取消“应用于步距”复选框，勾选“优化轨迹”复选框，如图 8-55 所示。

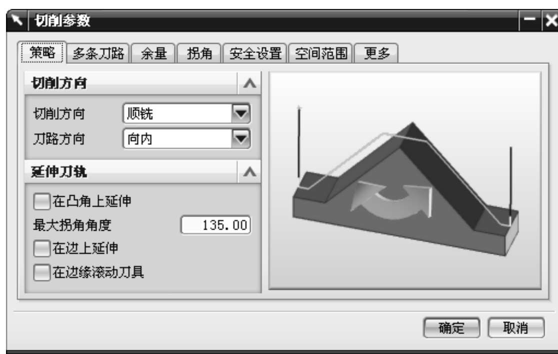


图 8-53 “策略”选项卡



图 8-54 “拐角”选项卡

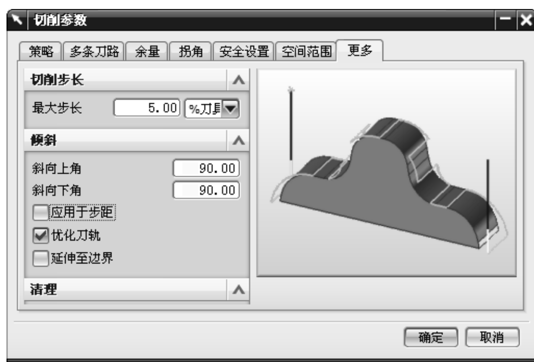


图 8-55 “更多”选项卡

4）单击“切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成切削参数设置。

5. 设置非切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“非切削参数”按钮，弹出“非切削移动”对话框，进行非切削参数设置。

1）“进刀”选项卡：“进刀类型”为“圆弧-与刀轴平行”，“半径”为“50.00”，其他参数设置如图 8-56 所示。

2）“退刀”选项卡：“退刀类型”为“与进刀相同”，其他参数设置如图 8-57 所示。

3）“传递/快速”选项卡：“安全设置选项”为“使用继承的”，其他参数设置如图 8-58 所示。

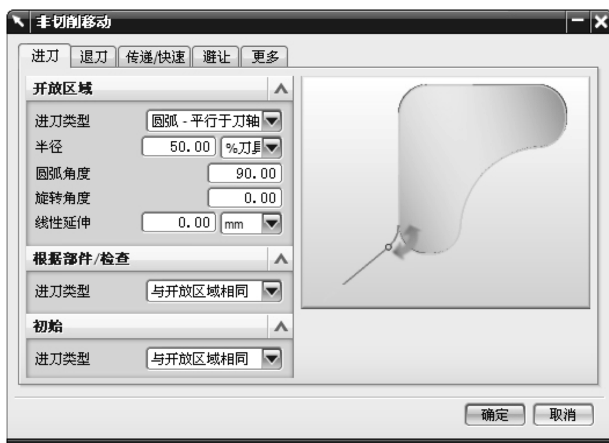


图 8-56 “进刀”选项卡



图 8-57 “退刀”选项卡

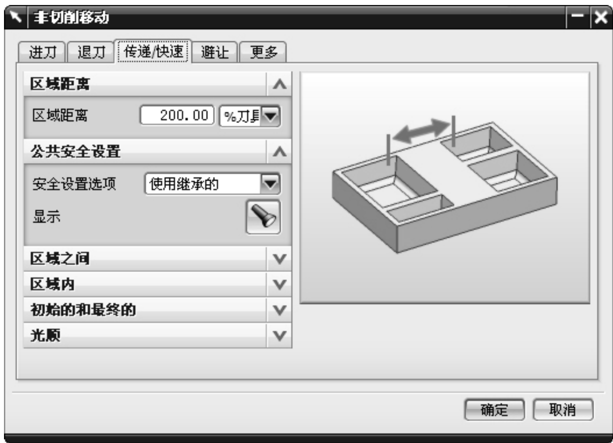


图 8-58 “传递/快速”选项卡

① 在“区域之间”设置“逼近”、“离开”、“移刀”参数，如图 8-59 所示。

② 在“区域内”和“初始的和最终的”组框中设置“逼近”、“离开”、“移刀”参数，如图 8-60 所示。



图 8-59 设置“区域之间”参数



图 8-60 设置“区域内”参数

4）单击“非切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成非切削参数设置。

6．设置进给参数

单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给和速度”对话框。设置“主轴速度（rpm）”为“60000.00”，单位为“rpm（r/min）”；“切削”为“6000.00”，单位为“mmpm（mm/min）”，其他接受默认设置，如图 8-61 所示。



图 8-61　“进给和速度”对话框

7．**机床控制**

1）在“机床控制”组框中的“运动输出”选项中选择“Nurbs”，如图 8-62 所示。

2）系统弹出“Nurbs 运动”对话框，设置拟合控制公差为 0.03，如图 8-63 所示，然后单击“确定”按钮。



图 8-62　设置“运动输出”选项



图 8-63　“Nurbs 运动”对话框

8．**生成刀具路径并验证**

1）在“操作”对话框中完成参数设置后，单击该对话框底部“操作”组框中的“生成”按钮，可生成该操作的刀具路径。单击“操作”对话框底部“操作”组框中的“切削过程模拟”按钮，弹出“刀轨可视化”对话框，然后选择“2D 动态”选项卡，单击“播放”按钮，可进行 2D 动态刀具切削过程模拟，如图 8-64 所示。

2）单击“固定轮廓铣”对话框中的“确定”按钮，接受刀具路径，并关闭“固定轮廓铣”对话框。



图 8-64　固定轴曲面轮廓铣精加工的“刀具路径”和“实体切削验证”

a）刀具路径　b）实体切削验证

8.3.6　陡峭面等高轮廓铣精加工

1）单击“操作导航器”工具栏上的“程序顺序视图”按钮，操作导航器按刀具路径执行顺序，列出当前零件的所有操作。

① 先用鼠标选择“ZLEVEL_PROFILE_SEMIFINISH”操作，然后单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择“复制”命令，复制“ZLEVEL_PROFILE_SEMIFINISH”操作。

② 先用鼠标选择“FIXED_CONTOUR_FINISH”操作，然后单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择“粘贴”命令，粘贴刚才复制的“ZLEVEL_PROFILE_SEMIFINISH”操作。

③ 在新复制的操作上单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择“重命名”命令，更改操作名称为“ZLEVEL_PROFILE_FINISH”，如图 8-65 所示。

2）选择切削区域。单击“固定轮廓铣”对话框中的“几何体”组框的“指定切削区域”后的按钮，弹出“切削区域”对话框，选择如图 8-66 所示的侧壁面为切削区域。



图 8-65　“重命名”操作

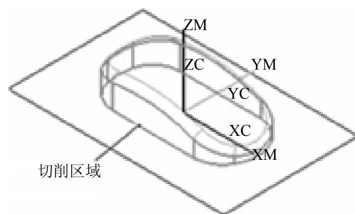


图 8-66　选择切削区域

3）重新选择加工方法。在“刀轨设置”组框中的“方法”下拉列表中选择“MILL_FINISH”，作为本次操作所采用的方法。

4）设定切削用量。在“刀轨设置”组框中的“全局每刀深度”文本框中输入“0.10”，如图 8-67 所示。

5）设置切削参数。单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框。在“策略”选项卡中，设置“切削顺序”为“层优先”，如图 8-68 所示。



图 8-67　设定切削用量

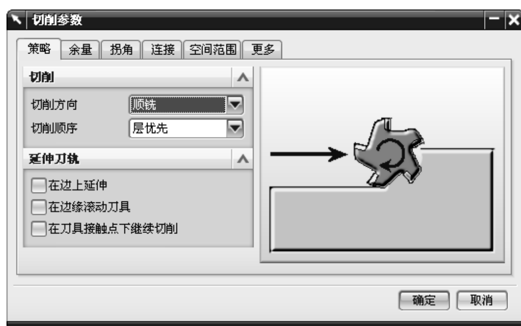


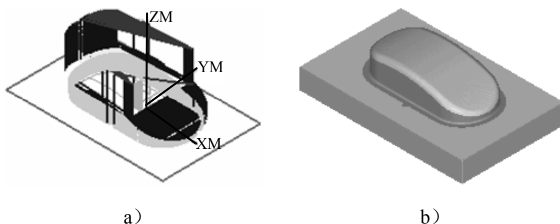
图 8-68 “策略”选项卡

6）设置进给和速度。单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给”对话框。设置“主轴速度（rpm）”为“60000.00”，单位为“rpm（r/min）”；“切削”为“12000.00”，单位为“mmpm（mm/min）”，如图 8-69 所示。



图 8-69 “进给和速度”对话框

7）在“操作”对话框中完成参数设置后，单击该对话框底部“操作”组框中的“生成”按钮，可生成该操作的刀具路径。单击“操作”对话框底部“操作”组框中的“切削过程模拟”按钮，弹出“刀轨可视化”对话框，然后选择“2D 动态”选项卡，单击“播放”按钮，可进行 2D 动态刀具切削过程模拟，如图 8-70 所示。



a）　　b）

图 8-70　陡峭面等高轮廓铣精加工“刀具路径”和“实体切削验证”

a）刀具路径　b）实体切削验证

8.3.7　分型面型腔铣精加工

单击“操作导航器”工具栏上“程序顺序视图”按钮，操作导航器切换到程序视图。

1. 创建操作

1）单击“插入”工具栏上的“创建操作”按钮，弹出“创建操作”对话框。在“创建操作”对话框中的“类型”下拉列表中选择“mill_contour”，“操作子类型”选择第 1 行第 1 个图标（CAVITY_MILL），“程序”选择“NC_PROGRAM”，“刀具”选择“D10R2”，“几何体”选择“MCS_MILL”，“方法”选择“MILL_FINISH”，在“名称”文本框中输入“CAVITY_MILL_FINISH”，如图 8-71 所示。

2）单击“确定”按钮，弹出“型腔铣”对话框，如图 8-72 所示。



图 8-71　“创建操作”对话框



图 8-72　“型腔铣”对话框

2. 选择加工几何

1）在“几何体”组框中单击“指定部件”选项后的“选择或编辑部件几何体”按钮，弹出“部件几何体”对话框。在图形区选择图 8-73 所示的分型曲面，然后单击“确定”按钮，返回“型腔铣”对话框。

2）在“几何体”组框中单击“指定部件”选项后的“选择或编辑毛坯几何体”按钮，弹出“毛坯几何体”对话框。在图形区选择图 8-73 所示的分型曲面，然后单击“确定”按钮，返回“型腔铣”对话框。

3. 设置切削层

单击“刀轨设置”组框中“切削层”按钮，弹出“切削层”对话框。选择“范围类型”为“单个”，并选中“仅在底部范围切削”选项。单击“向上”按钮，设置“测量开始位置”为“顶层”，范围深度为“2.00”，如图 8-74 所示，单击“确定”按钮完成。

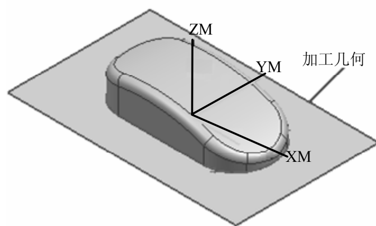


图 8-73　选择加工几何



图 8-74　“切削层”对话框


提示

进行单层切削时，最好选择单个范围方式，并设置为“仅在底部范围切削”。

4. 选择切削模式和设置切削参数

在“型腔铣”对话框的“刀轨设置”组框中进行“切削模式”和“切削参数”的设置，如图 8-75 所示。

1）选择切削模式：在“切削模式”下拉列表中选择“跟随周边”方式。

2）设置切削步进：在“步距”下拉列表中选择“恒定”，在“距离”文本框中输入“0.40”。



图 8-75　“切削模式”和“切削参数”的设置

5. 设置切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框，进行切削参数设置

1）“策略”选项卡：“切削方向”为“顺

铣”，“切削顺序”为“层优先”，其他参数设置如图 8-76 所示。

2）“余量”选项卡：“毛坯余量”为“1.00”，其他参数设置如图 8-77 所示。

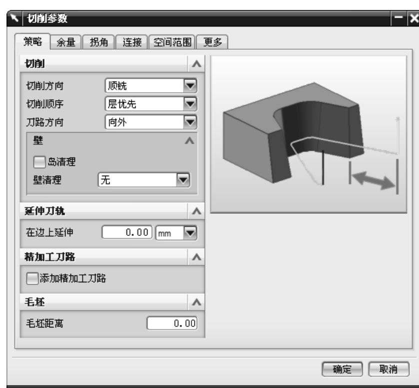


图 8-76 “策略”选项卡

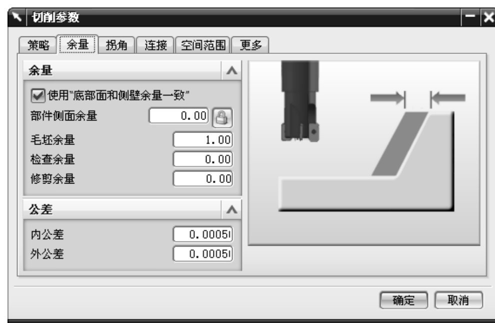


图 8-77 “余量”选项卡



提示

一定要设置毛坯余量大于 0，否则在计算刀路时系统找不到要切削的材料。

3）“拐角”选项卡：“光顺”为“所有刀路”，其他参数设置如图 8-78 所示。

4）“更多”选项卡：在“原有的”组框中勾选“容错加工”复选框，如图 8-79 所示。

5）单击“切削参数”对话框中的“确定”按钮，完成切削参数设置。



图 8-78 “拐角”选项卡

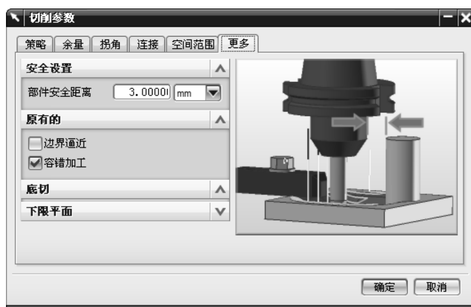


图 8-79 “更多”选项卡

6. **设置非切削参数**

单击“刀轨设置”组框中的“非切削参数”按钮，弹出“非切削移动”对

话框，进行非切削参数设置。

1）“进刀”选项卡：“封闭区域”的“进刀类型”为“螺旋线”，“直径”为“90.00”，“最小安全距离”为“50.00”，其他参数设置如图 8-80 所示。

2）“退刀”选项卡：“退刀类型”为“与进刀相同”，其他参数设置如图 8-81 所示。

3）“开始/钻点”选项卡：“重叠距离”为“1.00”，其他接受默认设置，如图 8-82 所示。

4）“传递/快速”选项卡：“传递类型”为“前一平面”，其他参数设置如图 8-83 所示。

5）单击“非切削移动”对话框中的“确定”按钮，完成非切削参数设置。

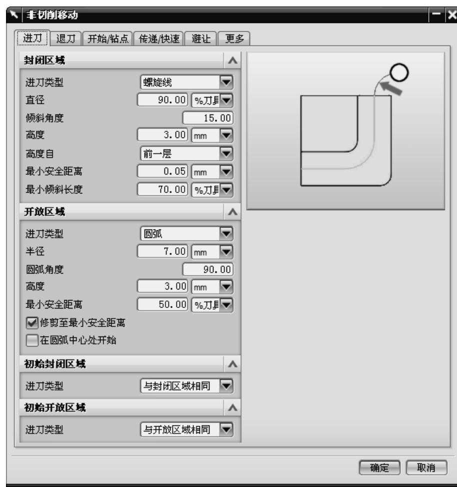


图 8-80 “进刀”选项卡

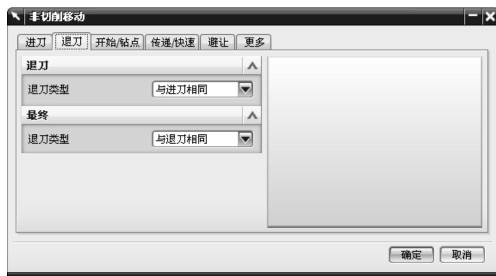


图 8-81 “退刀”选项卡

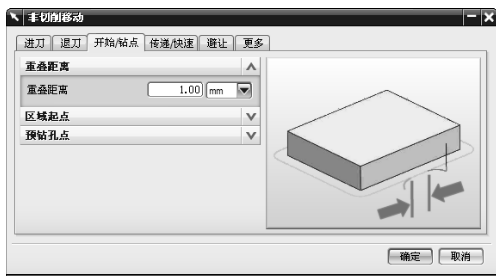


图 8-82 “开始/钻点”选项卡



图 8-83 “传递/快速”选项卡

7．设置进给参数

单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给和速度”对话框。设置“主轴速度（rpm）”为“27850.00”，单位为“rpm（r/min）”；“切削”为“9470.00”，单位为“mmpm（mm/min）”，其他接受默认设置，如图 8-84 所示。



图 8-84 “进给和速度”对话框

8．机床控制

1）在“机床控制”组框中的“运动输出”选项中选择“Nurbs”，如图 8-85 所示。

2）系统弹出“Nurbs 运动”对话框，设置拟合控制公差为 0.03，如图 8-86 所示，然后单击“确定”按钮。



图 8-85 设置“运动输出”选项

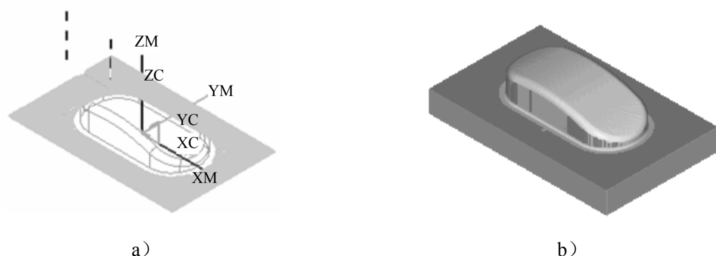


图 8-86 “Nurbs 运动”对话框

9．生成刀具路径并验证

1）在“操作”对话框中完成参数设置后，单击该对话框底部“操作”组框

中的“生成”按钮，可在操作对话框下生成刀具路径，如图 8-87 所示。单击“操作”对话框底部“操作”组框中的“切削过程模拟”按钮，弹出“刀轨可视化”对话框，然后选择“2D 动态”选项卡，单击“播放”按钮，可进行 2D 动态刀具切削过程模拟，如图 8-87 所示。



a)　　b)

图 8-87　分型面型腔铣精加工的“刀具路径”和“实体切削验证”

a）刀具路径　b）实体切削验证

2）单击“确定”按钮，返回“型腔铣”对话框，然后单击“确定”按钮，完成操作。

8.4　实例总结

本章详细介绍了鼠标凸模的高速铣加工方法和具体步骤，读者在学习过程中需要特别注意的是：对于零件上不同特征的曲面，要在精加工时采用不同的加工方法。一般地，比较平坦的曲面可采用固定轴曲面轮廓铣加工方式，陡峭面采用等高轮廓铣加工方式。

第 9 章　UG NX 7.0 发动机叶轮高速加工实例

本书最后一章将通过发动机叶轮多轴铣削加工实例，来讲解 UG 高速加工的流程与实际应用。图 9-1 所示为航空发动机叶轮，该结构比较复杂，叶片有扭曲，故只能采用五轴加工。材料为超硬合金，表面加工表面粗糙度值为 *Ra*0.8μm。



图 9-1　航空发动机叶轮

9.1　加工方法分析

根据叶轮零件的特点，叶轮高速数控加工中所用到的切削用量如表 9-1 所示。

1）流道加工：采用可变轴曲面轮廓铣进行曲面精加工，驱动方式选择“表面积”方法，刀轴方向为“插补”。

2）侧面加工：用可变轴曲面轮廓铣进行曲面精加工，驱动方式选择“表面积”方法，刀轴方向为“侧刃驱动体”。

表 9-1　航空发动机叶轮加工切削用量

刀具直径/in	刀齿数	背吃刀量/mm	主轴转速 *n*/（r/min）	进给率/（in/min）	加工方式
0.2	2	0.2	9550	300	精加工
0.2	2	0.3	9550	300	精加工

9.2　加工流程与效果图

航空发动机叶轮曲面数控加工具体的设计流程和效果图如表 9-2 所示。

表 9-2　航空发动机叶轮曲面数控加工具体的设计流程和效果图

步　　骤	设计知识点	设计流程效果图
Step 1：打开文件，进入加工环境	数控加工环境是指进入 UG NX 的制造模块后进行编程作业的软件环境，选择轮廓铣“mill_contour”	加工环境 CAM 会话配置 cam_general cam_library cam_part_planner_library cam_teamcenter_library feature_machining hole_making hole_making_mw lathe 浏览配置文件 要创建的 CAM 设置 mill_planar mill_contour mill_multi-axis drill hole_making turning wire_edm probing 浏览设置部件 确定　取消
Step 2：创建几何组	创建几何是在零件上定义要加工的几何对象和指定零件在机床上的加工方位	铣削几何体 几何体 指定部件 指定毛坯 指定检查 偏置 描述 材料: CARBON STEEL 布局和图层 确定　取消
Step 3：创建刀具组	创建加工所需的加工刀具	L　FL　R　D　A　B　R　D
Step4：创建可变轴曲面轮廓铣	可变轴曲面轮廓铣是精加工由轮廓曲面形成的区域的加工方法，选择插补刀轴	
Step5：创建可变轴曲面轮廓铣	可变轴曲面轮廓铣是精加工由轮廓曲面形成的区域的加工方法，选择侧刃驱动体刀轴	

（续）

步　　骤	设计知识点	设计流程效果图
Step6：创建可变轴曲面轮廓铣	可变轴曲面轮廓铣是精加工由轮廓曲面形成的区域的加工方法，选择侧刃驱动体刀轴	
Step7：刀具路径变换	利用刀具路径旋转功能，可简化刀具路径的创建	

9.3 具体操作步骤

9.3.1 初始化加工环境

1. 打开模型文件

启动 UG NX 7.0 后，单击“标准”工具栏上的“打开”按钮，打开“打开部件文件”对话框，选择“yelun.prt”（“光盘路径：\Chapter09\uncompleted\yelun.prt”），单击“OK”按钮，文件打开后如图 9-2 所示。

2. 进入加工模块

单击“标准”工具栏上的“起始”按钮起始▾，在弹出的下拉菜单中选择“加工”命令，弹出“加工环境”对话框。然后在“CAM 会话配置”中选择“cam_general”，在“要创建的 CAM 设置”中选择“mill_multi-axis”，单击“确定”按钮，初始化加工环境，如图 9-3 所示。



图 9-2　打开的模型文件



图 9-3　“加工环境”对话框

9.3.2　创建加工父级组

1．创建加工几何组

单击“导航器”工具栏上的“几何视图”按钮，将“操作导航器”切换到几何视图显示。

1）设置安全平面，具体操作步骤如下：

① 双击“操作导航器”窗口中的“MCS_MILL”图标，弹出“Mill Orient”对话框，如图 9-4 所示。在“Mill Orient”对话框中，在“间隙”组框中的“安全设置选项”下拉列表中选择“平面”选项，然后单击“选择安全平面”按钮，弹出“平面构造器”对话框。

② 在“平面构造器”对话框中选择“XC-YC”图标，在“偏置”文本框中输入“4.00”，如图 9-5 所示，将安全平面设置相对于 XC-YC 平面的距离为 4in。单击“确定”按钮，在图形区会显示安全平面所在的位置，如图 9-6 所示。



图 9-4 “Mill Orient”对话框



图 9-5 “平面构造器”对话框



图 9-6 显示安全平面所在的位置

2）创建部件几何，具体操作步骤如下：

① 在“操作导航器”中双击“WORKPIECE”图标，弹出“铣削几何体”对话框，如图 9-7 所示。

② 单击“几何体”组框中“指定部件”选项后的“选择或编辑部件几何体”按钮，弹出“部件几何体”对话框。单击“全选”按钮，选择所有的曲面，如图 9-8 所示。单击“确定”按钮，返回“铣削几何体”对话框。

③ 单击“几何体”组框中“指定毛坯”选项后的“选择或编辑毛坯几何体”按钮，弹出“毛坯几何体”对话框，选择在 10 图层上的实体作为毛坯几何，如图 9-9 所示。连续单击“确定”按钮，完成毛坯设置。



图 9-7 “铣削几何体”对话框



图 9-8 选择部件几何体

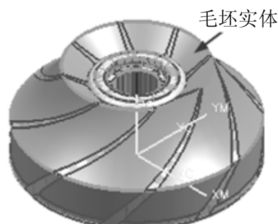


图 9-9 创建毛坯几何体

2. 创建刀具组

单击“导航器”工具栏上的“机床视图”按钮，操作导航器切换到机床刀具视图。

1）创建名称为“B0.2”的球刀，具体操作步骤如下：

① 单击“加工创建”工具栏上的“创建刀具”按钮，弹出“创建刀具”对话框。在“类型”下拉列表中选择“mill_multi-axis”，“刀具子类型”选择“BALL_MILL”图标，在“名称”文本框中输入“B0.2”，如图 9-10 所示。单击“创建刀具”对话框中的“确定”按钮，弹出“铣刀-球头铣”对话框。

② 在“铣刀-球头铣”对话框中设定“直径”为“0.20”，“长度”为“5.00”，其他参数接受默认设置，如图 9-11 所示。单击“确定”按钮，完成刀具创建。



图 9-10 “创建刀具”对话框

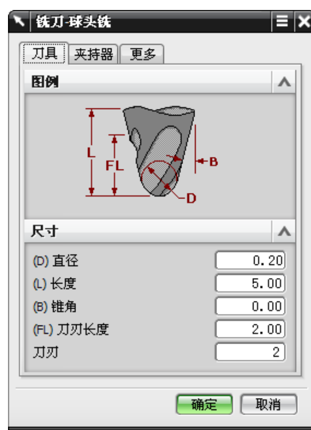


图 9-11 “铣刀-球头铣”对话框

2）创建名称为“B0.2B1”的锥度铣刀，具体操作步骤如下：

① 单击“加工创建”工具栏上的“创建刀具”按钮，弹出“创建刀具”对

话框。在“类型”下拉列表中选择“mill_multi-axis”，“刀具子类型”选择“BALL_MILL”图标，在“名称”文本框中输入“B0.2B1”，如图 9-12 所示。单击“创建刀具”对话框中的“确定”按钮，弹出“铣刀-球头铣”对话框。

② 在“铣刀-球头铣”对话框中设定“直径”为“0.20”，“长度”为“5.00”，“锥角”为“1.00”，其他参数接受默认设置，如图 9-13 所示。单击“确定”按钮，完成刀具创建。



图 9-12“创建刀具”对话框

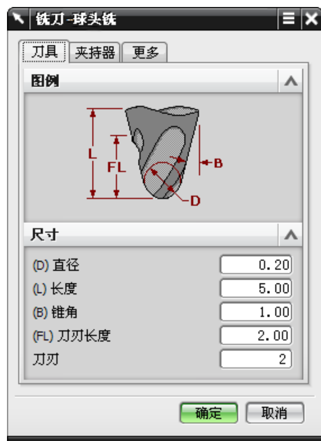


图 9-13　“铣刀-球头铣”对话框

9.3.3　创建流道加工曲面和刀轴线

1）单击“标准”工具栏上的“起始”按钮，在弹出的下拉菜单中选择“建模”命令，进入建模环境。

2）选择下拉菜单“格式”→“图层设置”命令，弹出“图层设置”对话框，设置 15 层为当前图层，如图 9-14 所示。

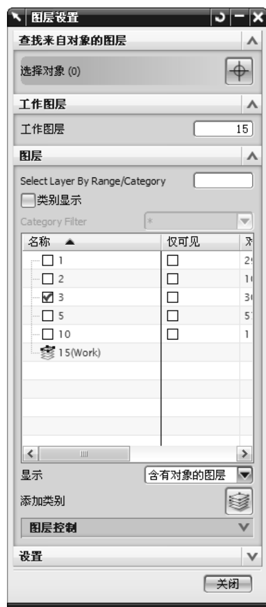


图 9-14　“图层设置”对话框

1. 创建流道底面等参数曲线

1）单击“曲线”工具栏上的“抽取曲线”按钮，弹出“抽取曲线”对话框，如图 9-15 所示。

2）单击“等参数曲线”按钮，弹出“等参数曲线”对话框，选择“U 恒定”，“曲线数量”为“10”，如图 9-16 所示。

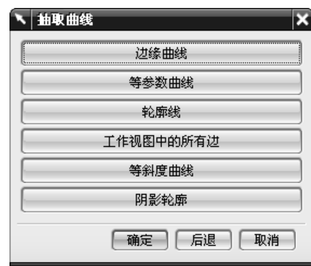


图 9-15 “抽取曲线”对话框



图 9-16 “等参数曲线”对话框



提示

为了简化后续操作，此处只抽取 10 条等参数线，建议读者在实际加工中多抽取曲线数目，从而使刀轴的控制更加精确。

3）选择图 9-17 所示的曲面，单击“确定”按钮，完成曲线抽取，如图 9-18 所示。

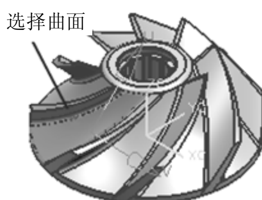


图 9-17 选择曲面

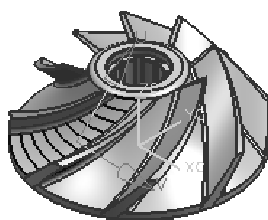


图 9-18 抽取的曲线

2. 创建侧面等参数曲线

1）单击“曲线”工具栏上的“抽取曲线”按钮，弹出“抽取曲线”对话框，如图 9-19 所示。

2）单击“等参数曲线”按钮，弹出“等参数曲线”对话框，选择“V 恒定”，“曲线数量”为“10”，如图 9-20 所示。

3）选择图 9-21 所示的曲面，单击“确定”按钮，完成曲线抽取，如图 9-22 所示。

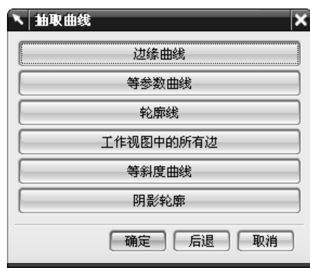


图 9-19 “抽取曲线”对话框



图 9-20 “等参数曲线”对话框

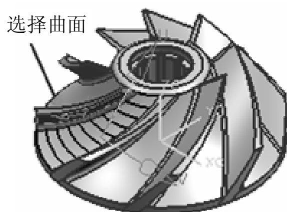


图 9-21　选择曲面

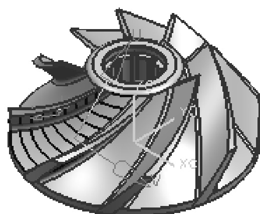


图 9-22　抽取的曲线

4）重复上述步骤，选择图 9-23 所示的曲面，完成曲线抽取，如图 9-24 所示。

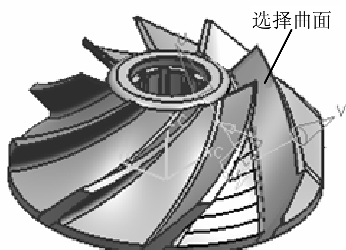


图 9-23　选择曲面

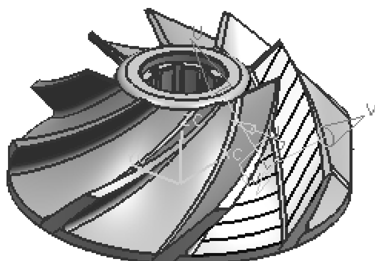


图 9-24　抽取的曲线

5）单击“标准”工具栏上的“起始”按钮，在弹出的下拉菜单中选择“加工”命令，进入加工环境。

9.3.4　流道加工

单击“操作导航器”工具栏上的“程序顺序视图”按钮，操作导航器切换到程序视图。

1．创建可变轴曲面轮廓铣操作

1）单击“加工创建”工具栏上的“创建操作”按钮，弹出“创建操作”对话框。在“创建操作”对话框的“类型”下拉列表中选择“mill_multi-axis”，“操作子类型”选择第 1 行第 1 个图标（VARIABLE_CONTOUR），“程序”选择“NC_PROGRAM”，“刀具”选择“B0.2”，“几何体”选择“WORKPIECE”，“方法”选择“MILL_FINISH”，在“名称”文本框中输入“VARIABLE_FINISH1”，如图 9-25 所示。

2）单击“确定”按钮，弹出“可变轮廓铣”对话框，如图 9-26 所示。



图 9-25 “创建操作”对话框



图 9-26 “可变轮廓铣”对话框

2. 选择部件几何

1）在“几何体”组框中单击“指定切削区域”选项后的“选择或编辑切削区域几何体”按钮，弹出“切削区域”对话框，如图 9-27 所示。

2）在图形区选择图 9-28 所示的曲面，然后单击“确定”按钮，返回“可变轮廓铣”对话框。



图 9-27 “切削区域”对话框

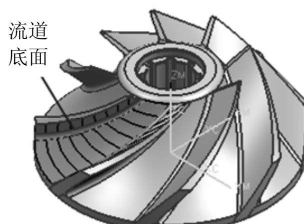


图 9-28 选择曲面

3. 选择驱动方法

1）在“可变轮廓铣”对话框中，在“驱动方法”组框的“方法”下拉列表中选取“曲面”，系统弹出“曲面驱动方法”对话框，如图 9-29 所示。

2）在“驱动几何体”组框中，单击“指定驱动几何体”选项后的“选择或

编辑驱动几何体”图标，选择图 9-30 所示的曲面。单击“确定”按钮，返回“曲面驱动方法”对话框。



图 9-29 “曲面驱动方法”对话框

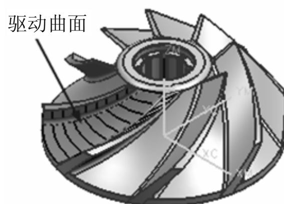


图 9-30　选择驱动曲面

3）单击“切削方向”按钮，弹出“切削方向确认”对话框，选择图 9-31 所示箭头方向为切削方向，然后单击“确定”按钮，返回“曲面驱动方法”对话框。

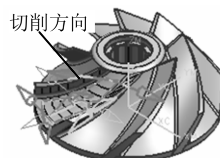


图 9-31　选择切削方向

4）单击“材料反向”按钮，确认材料侧方向如图 9-32 所示。

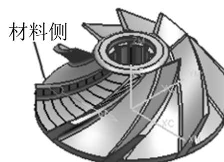


图 9-32　设置材料侧方向

5）在“驱动设置”组框中选择“切削模式”为“往复”，“步距”为“残余高度”，并输入“残余高度”为“0.001”，如图 9-33 所示。

6）在“更多”组框中设置“切削步长”为“公差”，内、外公差为“0.001”，“过切时”为“无”，如图 9-34 所示。

7）单击“曲面驱动方法”对话框的“确定”按钮，完成驱动方法设置，返回“可变轮廓铣”对话框。



图 9-33 “驱动设置”组框



图 9-34 “更多”参数设置



提示

为了使驱动曲面上的驱动点均匀，通常要求驱动曲面必须是光顺表面，且形状不要太复杂，并且驱动曲面的栅格必须按一定的栅格行序或列序排列。

4. 选择刀轴方向

1）在“刀轴”组框中选择“轴”为“插补”，如图 9-35 所示。



图 9-35　选择刀轴方向

2）单击“刀轴”组框中的“编辑参数”按钮，弹出“插补刀轴”对话框，如图 9-36 所示；同时在图形区显示出刀轴矢量方向，如图 9-37 所示。



图 9-36 “插补刀轴”对话框



图 9-37　刀轴矢量方向

3）编辑刀轴矢量方向。具体操作步骤如下：

① 单击“插补刀轴”对话框中的“编辑”按钮，系统提示“选择要编辑刀轴的点”。单击鼠标左键，选择图 9-38 所示位置，然后再次单击“编辑”按钮，弹出“矢量”对话框，如图 9-39 所示。



图 9-38　选择编辑刀轴的点



图 9-39 “矢量”对话框

② 在图形区选择侧面的边线作为刀轴方向，如图 9-40 所示，然后单击“确定”按钮完成。

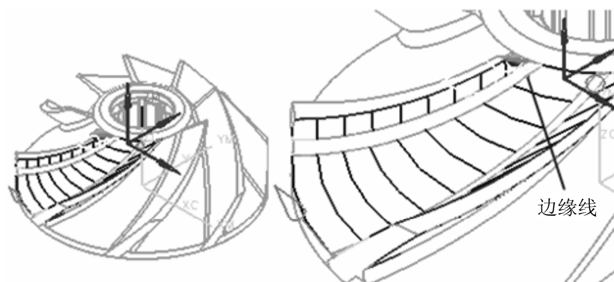


图 9-40　设置刀轴方向



提示

如果所选择的刀轴方向沿曲线反方向，可单击“矢量”对话框中的“反向”按钮。

4）重复步骤 3)，分别设置四个角点的刀轴方向沿侧面的边缘，如图 9-41 所示。

5）添加刀轴控制。具体操作步骤如下：

① 单击“插补刀轴”对话框中的“添加”按钮，弹出“点”对话框，在“类型”中选择“自动判断的点”，如图 9-42 所示。

② 在图形区选择图 9-43 所示曲线的端点，然后弹出“矢量”对话框。选择图 9-44 所示的等参数曲线，设置刀轴矢量方向为该等参数线方向，单击“确定”按钮完成。

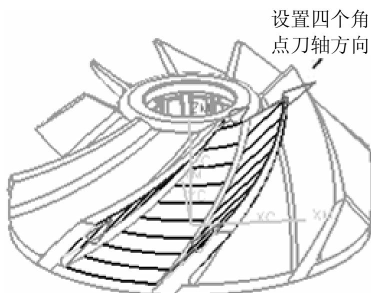


图 9-41　设置角点刀轴方向



图 9-42　“点”对话框

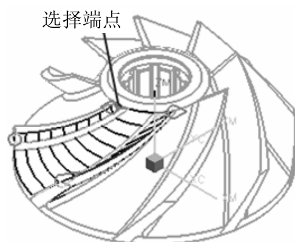


图 9-43 选择刀轴矢量位置

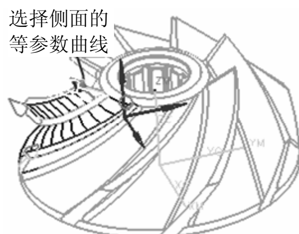


图 9-44 设置刀轴方向为等参数曲线方向

6）重复步骤 5），设置左侧的刀轴方向分别为左侧面等参数曲线方向，如图 9-45 所示。

7）重复步骤 5），设置右侧的刀轴方向分别为右侧面等参数曲线方向，如图 9-46 所示。

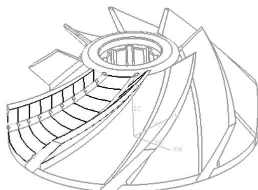


图 9-45 设置左侧刀轴方向

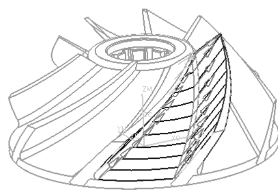


图 9-46 设置右侧刀轴方向

5. 选择投影矢量方向

在“投影矢量”组框的“矢量”中选择“刀轴”，如图 9-47 所示，在弹出的“矢量”对话框中单击“确定”按钮。



图 9-47 选择投影矢量

6. 设置切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框，设置切削加工参数。

1）“策略”选项卡：取消“在边缘滚动刀具”复选框，其他接受默认设置，如图 9-48 所示。

2）“多条刀路”选项卡：在“部件余量偏置”中输入“1.00”，并在“增量”文本框中输入“0.20”，如图 9-49 所示。

3）“余量”选项卡：在“部件内公差”和“部件外公差”文本框中输入“0.001”，如图 9-50 所示。

4）“刀轴控制”选项卡：设置“最大刀轴更改”为“3.00”，其他设置如图 9-51 所示。

5）“更多”选项卡：在“切削步长”组框的“最大步长”文本框中输入“5.00”，选择“%刀具”，如图 9-52 所示。

6）单击“确定”按钮，完成切削参数设置，返回“可变轮廓铣”对话框。

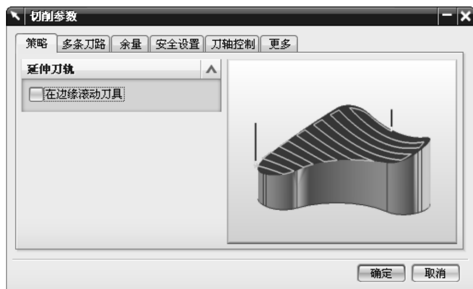


图 9-48　“策略”选项卡

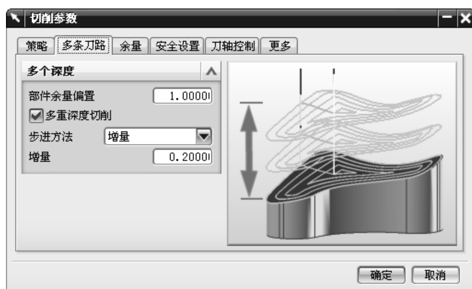


图 9-49　“多条刀路”选项卡

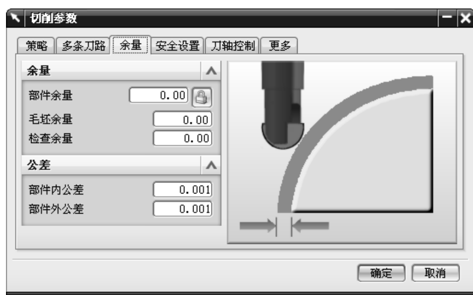


图 9-50　“余量”选项卡

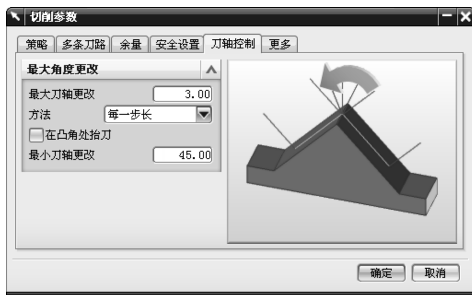


图 9-51　“刀轴控制”选项卡

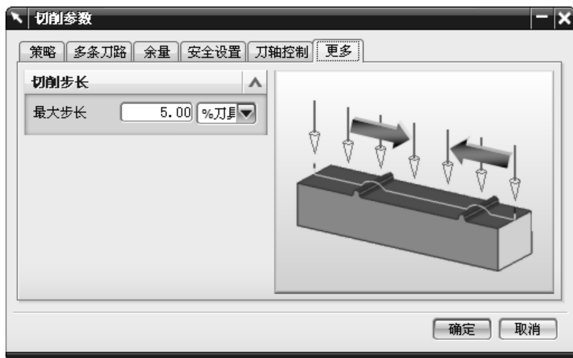


图 9-52　“更多”选项卡

7. 设置非切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“非切削移动”按钮，弹出“非切削移动”对话框。

1）“进刀”选项卡：在“开放区域”组框中，选择“类型”为“圆弧-平行于刀轴”，其他参数如图 9-53 所示。

2）“退刀”选项卡：在“开放区域”组框的“退刀类型”下拉列表中选择“与进刀相同”，如图 9-54 所示。

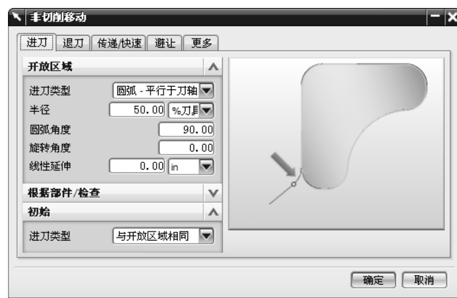


图 9-53 “进刀”选项卡



图 9-54 “退刀”选项卡

3）“传递/快速”选项卡：设置“安全设置选项”为“圆柱”，“指定点”为“0，0，0”，“指定矢量”为“Z 轴”，其他参数设置如图 9-55 所示。

① 在“区域之间”设置“逼近”、“离开”、“移刀”参数，如图 9-56 所示。

② 在“区域内”和“初始的和最终的”组框中设置“逼近”、“离开”、“移刀”参数，如图 9-57 所示。

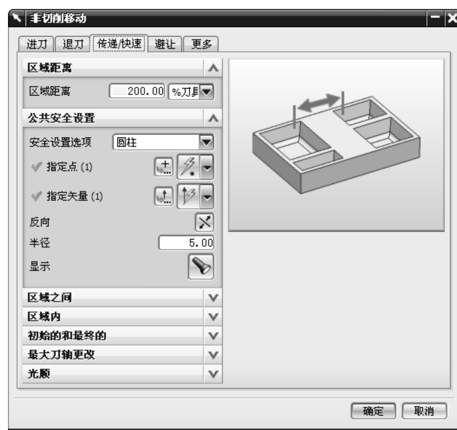


图 9-55 “传递/快速”选项卡



图 9-56　设置“区域之间”参数



图 9-57　设置“区域内”参数

4）单击“非切削移动”对话框中的“确定”按钮，完成非切削参数设置。

8．设置进给参数

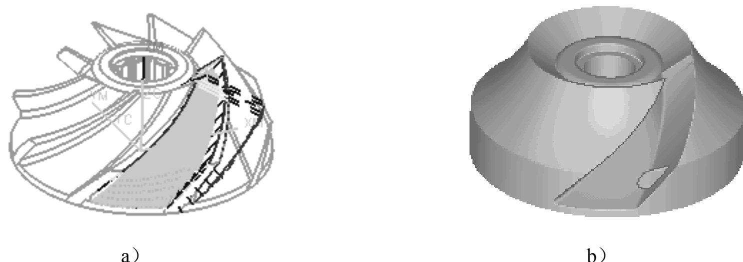
单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给和速度”对话框。设置“主轴转速（rpm）”为“9550.00”，单位为“rpm（r/min）”；“剪切”为“300.00”，“进刀”为“300.00”，单位为“ipm（in/min）”，其他设置如图 9-58 所示。



图 9-58　“进给和速度”对话框

9．生成刀具路径并验证

1）在“操作”对话框中完成参数设置后，单击该对话框底部“操作”组框中的“生成”按钮，可生成该操作的刀具路径。单击“操作”对话框底部“操作”组框中的“切削过程模拟”按钮，弹出“刀轨可视化”对话框，然后选择“2D 动态”选项卡，单击“播放”按钮，可进行 2D 动态刀具切削过程模拟，如图 9-59 所示。



a） b）

图 9-59 发动机叶轮曲面数控加工的“刀具路径”和“实体切削验证”
a）刀具路径 b）实体切削验证

2）单击“可变轮廓铣”对话框中的“确定”按钮，接受刀具路径，并关闭“可变轮廓铣”对话框。



提示

加工中，流道底部可能有少量的残余材料，可通过延伸切削曲面来消除，具体过程参见完成实例。

9.3.5 左叶片侧面精加工

单击“操作导航器”工具栏上的“程序顺序视图”按钮，操作导航器切换到程序视图。

1．创建可变轴曲面轮廓铣操作

1）单击“加工创建”工具栏上的“创建操作”按钮，或选择下拉菜单“插入”→“操作”命令，弹出“创建操作”对话框。在“创建操作”对话框的“类型”下拉列表中选择“mill_multi-axis”，“操作子类型”选择第 1 行第 1 个图标（VARIABLE_CONTOUR），“程序”选择“NC_PROGRAM”，“刀具”选择“B0.2B1”，“几何体”选择“WORKPIECE”，“方法”选择“MILL_FINISH”，在“名称”文本框中输入“VARIABLE_LEFT”，如图 9-60 所示。

2）单击“确定”按钮，弹出“可变轮廓铣”对话框，如图 9-61 所示。



图 9-60　“创建操作”对话框



图 9-61　“可变轮廓铣”对话框

2．选择驱动方法

1）在“可变轮廓铣”对话框中，在“驱动方法”组框的“方法”下拉列表中选取“曲面”，系统弹出“曲面驱动方法”对话框，如图 9-62 所示。

2）在“驱动几何体”组框中（见图 9-29），单击“指定驱动几何体”选项后的“选择或编辑驱动几何体”按钮，弹出“驱动几何体”对话框，选择图 9-63 所示的曲面。单击“确定”按钮，返回“曲面驱动方法”对话框。

3）单击“切削方向”按钮，弹出“切削方向确认”对话框，选择图 9-64 所示箭头指定方向为切削方向。单击“确定”按钮，返回“曲面驱动方法”对话框。



图 9-62　“曲面驱动方法”对话框

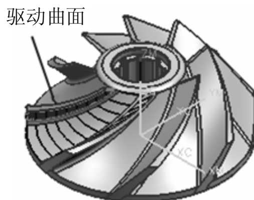


图 9-63　选择驱动曲面

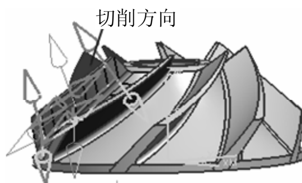


图 9-64　选择切削方向

4）单击“材料反向”按钮，确认材料侧方向如图 9-65 所示。

5）在“驱动设置”组框中选择“切削模式”为“往复”，“步距”为“残余

高度”，并输入“残余高度”为“0.001”，如图 9-66 所示。

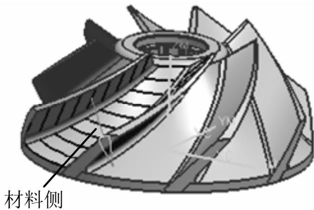


图 9-65　设置材料侧方向



图 9-66　“驱动设置”组框

6）单击“曲面驱动方法”对话框中的“确定”按钮，完成驱动方法设置，返回“可变轮廓铣”对话框。

3．**选择刀轴方向**

1）在“刀轴”组框中选择“轴”为“侧刃驱动体”，如图 9-67 所示。

2）在弹出的“侧刃驱动体”对话框中设置相关参数，如图 9-68 所示。

3）在图形区选择图 9-69 所示的箭头方向作为刀轴方向，然后返回“可变轮廓铣”对话框。



图 9-67　选择刀轴方向



图 9-68　“侧刃驱动体”对话框

4．**选择投影矢量方向**

在“投影矢量”组框中的“矢量”中选择“刀轴”，如图 9-70 所示。

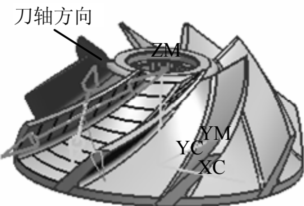


图 9-69　选择刀轴方向



图 9-70　选择投影矢量

5．设置切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“切削参数”按钮，弹出“切削参数”对话框，设置切削加工参数。

1）“策略”选项卡：取消“在边缘滚动刀具”复选框，其他接受默认设置，如图 9-71 所示。

2）“余量”选项卡：在“部件内公差”、“部件外公差”文本框中输入“0.0001”，如图 9-72 所示。

3）“刀轴控制”选项卡：设置“最大刀轴更改”为“3.00”，其他设置如图 9-73 所示。

4）“更多”选项卡：在“切削步长”的“最大步长”文本框中输入“5.00”，如图 9-74 所示。

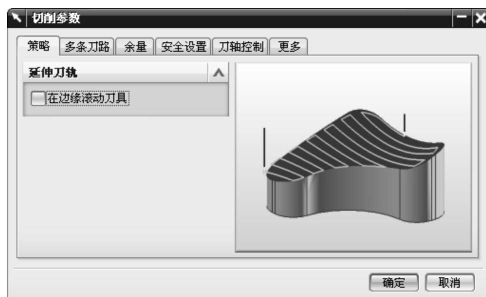


图 9-71　“策略”选项卡

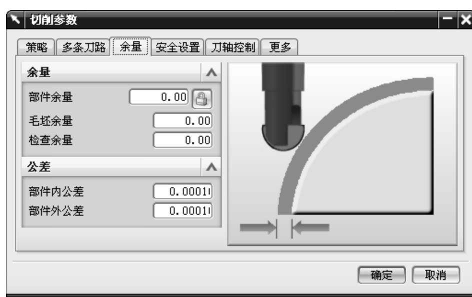


图 9-72　“余量”选项卡

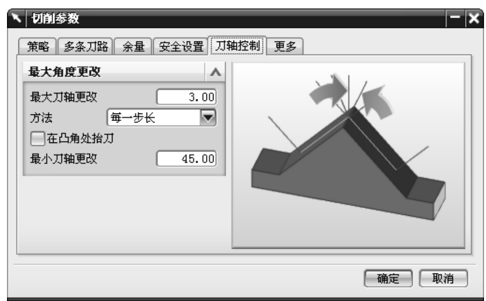


图 9-73　“刀轴控制”选项卡

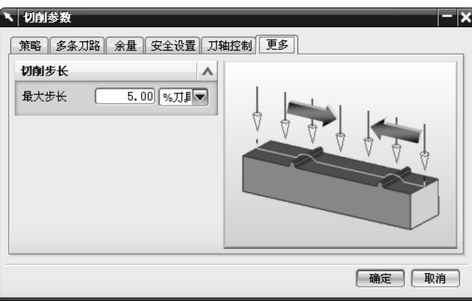


图 9-74　“更多”选项卡

5）单击“确定”按钮，完成切削参数设置，返回“可变轮廓铣”对话框。

6．设置非切削参数

单击“刀轨设置”组框中的“非切削移动”按钮，弹出“非切削移动”对话框。

1）“进刀”选项卡：在“开放区域”组框中，设置“进刀类型”为“圆弧-平行于刀轴”，其他参数如图 9-75 所示。

2）“退刀”选项卡：在“退刀”组框的“退刀类型”下拉列表中选择“与进刀相同”，如图 9-76 所示。

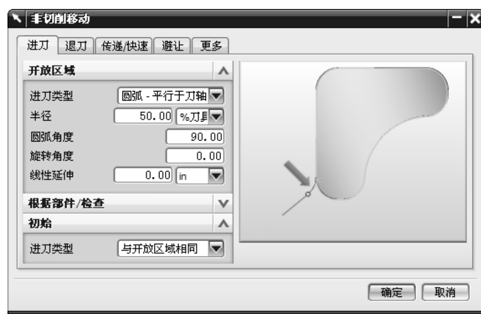


图 9-75 “进刀”选项卡



图 9-76 “退刀”选项卡

3）“传递/快速”选项卡：设置“安全设置选项”为“圆柱”，“指定点”的下拉选项中选择“0，0，0”，“指定矢量”的下拉选项中选择“Z 轴”，其他参数设置如图 9-77 所示。

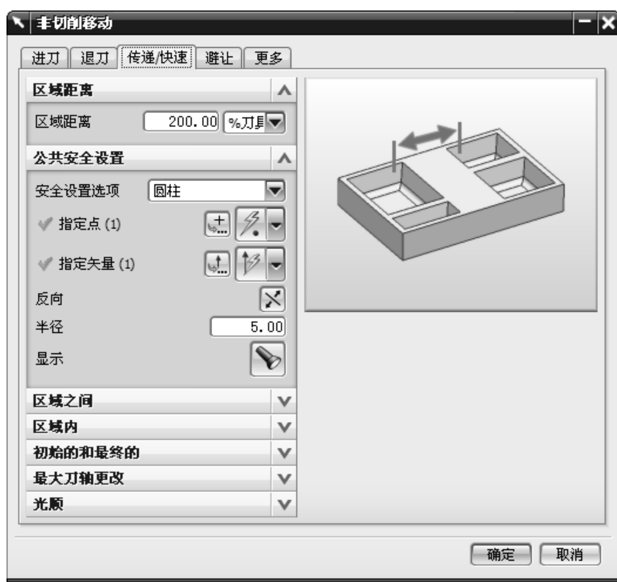


图 9-77 “传递/快速”选项卡

① 在“区域之间”设置“逼近”、“离开”、“移刀”参数，如图 9-78 所示。

② 在“区域内”和“初始的和最终的”组框中设置“逼近”、“离开”、“移刀”参数，如图 9-79 所示。



图 9-78　设置“区域之间”参数



图 9-79　设置“区域内”参数

4）单击“非切削移动”对话框中的“确定”按钮，完成非切削参数设置。

7. **设置进给参数**

单击“刀轨设置”组框中的“进给和速度”按钮，弹出“进给和速度”对话框。设置“主轴转速（rpm）”为 9550.00，单位为“rpm（r/min）”；“剪切”为“300.00”，“进刀”为“300.00”，单位为“ipm（in/min）”，其他参数设置如图 9-80 所示。



图 9-80　“进给和速度”对话框

8. **生成刀具路径并验证**

1）在“操作”对话框中完成参数设置后，单击该对话框底部“操作”组框中的“生成”按钮，可生成该操作的刀具路径。单击“操作”对话框底部“操作”组框中的“切削过程模拟”按钮，弹出“刀轨可视化”对话框，然后选择“2D 动态”选项卡，单击“播放”按钮，可进行 2D 动态刀具切削过程模拟，如图 9-81 所示。



a）　　　　b）

图 9-81　左叶片侧面精加工的“刀具路径”和“实体切削验证”

a）刀具路径　b）实体切削验证

2）单击“可变轮廓铣”对话框的“确定”按钮，接受刀具路径，并关闭“可变轮廓铣”对话框。

9.3.6　右叶片侧面精加工

重复“左叶片侧面精加工”的步骤 1～5，加工另一侧的叶片，其刀具路径和实体切削验证如图 9-82 所示。需要注意的是，设置“侧刃加工侧倾角”为“5”。



a）　　　　b）

图 9-82　右叶片侧面精加工的“刀具路径”和“实体切削验证”

a）刀具路径　b）实体切削验证

9.3.7　旋转阵列操作

1）在“操作导航器”窗口中选中所有的加工操作，单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择“对象”→“变换”命令，如图 9-83 所示。

2）在弹出的“变换”对话框中选择“绕直线旋转”，“直线方法”选择“点和

矢量”，选择原点（0，0，0），矢量为“+Z”，输入相关阵列参数，如图 9-84 所示。



图 9-83　快捷菜单



图 9-84　“变换”对话框

3）单击“变换”对话框中的“确定”按钮，完成刀轨变换操作，如图 9-85 所示。

4）在“操作导航器”中选中所有的操作，单击“操作”工具栏上的“确认刀轨”按钮，可验证所设置的刀轨，如图 9-86 所示。

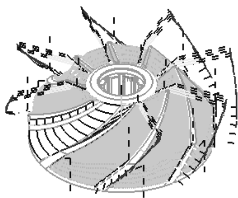


图 9-85　旋转复制的切削刀具路径



图 9-86　刀具路径切削验证

5）选择下拉菜单“文件”→“保存”命令，保存所创建的零件文件。

9.4　实例总结

本章通过航空发动机叶轮加工讲解了 UG 五轴高速加工的典型应用，读者在学习过程中，需要重点注意以下两点：

1）对于流道加工，一般采用曲面驱动方式，刀轴应该选择“插补”，通过编辑刀轴矢量与侧面切线方向相同的方法来控制刀具摆动的范围。

2）对于侧面加工，一般采用曲面驱动方式，刀轴应该选择“侧刃驱动体”，通过控制前倾角度来调整刀轴的方向。

参 考 文 献

[1] 王卫兵．高速加工数控编程技术[M]．北京：机械工业出版社，2009．

[2] 何庆．高速加工与数控编程[M]．北京：电子工业出版社，2009．



基础知识够用
实例丰富，讲解透彻，可借鉴性强
学习后可轻松实现从入门到精通

地址：北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销售一部：(010)68326294
销售二部：(010)88379649
读者购书热线：(010)88379203
邮政编码：100037
网络服务
门户网：http://www.cmpbook.com
教材网：http://www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版

上架指导：工业技术/机械工程/数控技术



ISBN 978-7-111-34322-6
ISBN 978-7-89451-946-7(光盘)
封面设计：马精明

定价：38.00元(含1DVD)